This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

TRANSPORTATION
LIBRARY
QC
73
.S46

C 422,437 DUPL

PROPERTY OF
University of Michigan Libraries
1817
ARTES SCIENTIA VERITAS
TRANSPORTATION LIBRARY

...portation
Library

MÉMOIRE

SUR

L'ORIGINE ET LA PROPAGATION DE LA FORCE,

PAR M. SEGUIN AINÉ,

Correspondant de l'Académie des Sciences, Institut impérial de France.

PIERRE BOS

PARIS,

MALLET-BACHELIER, IMPRIMEUR-LIBRAIRE

DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE IMPÉRIALE POLYTECHNIQUE,

Quai des Grands-Augustins, 55.

1857.

MÉMOIRE

SUR

L'ORIGINE ET LA PROPAGATION DE LA FORCE,

PAR M. SEGUIN AÎNÉ,
Correspondant de l'Académie des Sciences.

PIERRE BOS

PARIS,
MALLET-BACHELIER, IMPRIMEUR-LIBRAIRE
DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE IMPÉRIALE POLYTECHNIQUE.
Quai des Grands-Augustins, 55.
—
1857.

portation
Library

QC
73
S46

-22-32

MÉMOIRE

SUR

L'ORIGINE ET LA PROPAGATION DE LA FORCE.

La longue discussion qui s'est élevée, il y a quelques mois, au sein de l'Académie des Sciences, entre tant d'hommes compétents, sur la question du principe de la conservation indéfinie du mouvement, lorsqu'il a été produit en vertu d'une cause quelconque, m'a fait penser que cette question est loin encore d'être éclaircie, et qu'il est nécessaire que tous ceux qui en ont fait l'objet de leurs réflexions viennent apporter leur concours pour chercher à la dégager et à la faire sortir, s'il est possible, des difficultés et de l'obscurité dont elle est encore environnée.

Déjà plusieurs savants distingués se sont attachés à élucider la question, chacun sous le point de vue des études spéciales auxquelles il s'est consacré. Le premier, j'ai commencé à propager les idées que j'ai reçues de Montgolfier dès l'année 1800. En 1824, j'écrivis à sir John Herschel une lettre qui fut insérée, le 24 avril, dans le vingtième cahier de la *Revue d'Édimbourg*, rédigée par sir David Brewster : je lui exposais, dans cette lettre, la nouvelle doctrine de Montgolfier avec mes réflexions à l'appui, et quinze ans plus tard, en 1839, je faisais une première application pratique de la théorie de Montgolfier, en étudiant et calculant le rapport qui existe entre les quantités de chaleur nécessaires pour amener la vapeur d'eau à différents états de tension et de température, et les quantités de travail mécanique correspondant à ces tensions et à ces températures, et j'obtins de cette manière la première détermination expérimentale de l'équivalent mécanique de la chaleur, soit le nombre de grammes que l'on peut élever à 1 mètre de hauteur, en utilisant la chaleur développée par 1 gramme d'eau dont on a élevé la

température de 1 degré. Dans un Mémoire que je lus à l'Institut, le 20 septembre 1847, je montrai comment j'étais parvenu au nombre 440, qui représentait l'équivalent mécanique de la chaleur; ce chiffre résultait du travail que j'avais entrepris en 1839, pour constater que le calorique et le mouvement ne sont que deux manifestations, sous une forme différente, d'une seule et même cause. Plus tard, d'autres physiciens, et entre autres MM. Mayer, Joule, Thomson, se sont occupés du même sujet, et l'accord des nombres qu'ils ont obtenus, avec ceux que j'avais déjà indiqués, prouve de la manière la plus évidente que ce n'est pas sur des suppositions arbitraires, mais bien sur l'observation attentive des faits, qu'est basée la doctrine mise en avant par Montgolfier. L'ouvrage de M. Grove sur la corrélation des forces physiques, lequel présente un résumé complet des opinions qu'il avait manifestées depuis longues années dans divers écrits, antérieurement aux autres physiciens et expérimentateurs qui ont professé ensuite les mêmes principes, est venu donner un poids immense à la nouvelle doctrine. Habile expérimentateur, doué d'un esprit fin et judicieux et d'une justesse de vues remarquable, il est aussi parvenu, de son côté, et sans avoir aucune connaissance des travaux de Montgolfier ni des miens, à cette conclusion, que le seul moyen de donner une explication satisfaisante de ces divers phénomènes et des rapports qui les lient entre eux, c'est de leur assigner une origine commune et de les considérer comme des modes de mouvement de la matière elle-même.

M. Faraday enfin est venu encore apporter son éclatant appui à celui de tant d'autres célébrités dans la mémorable leçon qu'il a faite, le 27 février de cette année, à Royal-Institution, dans laquelle il a présenté le nouveau principe de la conservation indéfinie du mouvement, l'impossibilité de sa création et de son annihilation, et l'identité du calorique et du mouvement qui en est la conséquence.

On ne peut se dissimuler que dans l'état actuel, la question se trouve amenée sur un terrain où elle sort complétement des limites dans lesquelles les géomètres analystes avaient restreint sa discussion, et que la manière dont elle a été envisagée et discutée par eux exclut de l'arène un trop grand nombre de bons esprits, dont le concours peut être grandement utile pour coopérer à l'élucider.

Une question dont le champ est aussi vaste doit nécessairement rester accessible à cette classe d'hommes qui, quoique impuissants à manier les formules de l'analyse moderne, quelquefois si abstraites et même si obscures, sont cependant parvenus bien des fois par la profondeur de leurs vues, la justesse de leur esprit, et leur talent pour l'observation, à relever de graves erreurs qui s'étaient introduites dans la science, et à éclairer des questions aussi ardues qu'épineuses, dont la solution, par les difficultés qu'elle présentait, paraissait devoir être complétement en dehors de leurs facultés. Il est toujours dangereux de restreindre l'étude d'une science, et surtout d'une science comme la mécanique, à un trop petit nombre d'individualités; car elle est devenue, dans l'état de civilisation où nous sommes parvenus, une des premières et des plus indispensables connaissances pour tous ceux qui sont appelés à prendre part au mouvement rapide et progressif qui caractérise le siècle où nous vivons; mais cette science est traitée malheureusement dans les ouvrages spéciaux destinés à son enseignement, de manière à supposer une étendue de connaissances pour l'acquisition desquelles il est ordinairement nécessaire de consacrer la presque totalité de cette portion de la vie que chacun emploie au développement de son intelligence : encore ne doit-on pas se dissimuler, et tous ceux qui s'occupent d'instruction ne le savent que trop, combien, parmi les esprits aptes à cultiver les diverses branches des sciences qui constituent l'ensemble des connaissances humaines, il en est peu qui soient propres à acquérir la possibilité de manier avec facilité les formules de la haute analyse, indispensable pour l'intelligence des auteurs qui ont, comme l'a fait Poisson, traité les questions les plus usuelles de la mécanique.

Ces vérités se sont fait jour au sein même de l'Académie des Sciences dans la mémorable séance du 19 janvier dernier, et l'on ne saurait trop admirer les sages réflexions de M. le général Morin, les vues si droites, si nettes, qu'il a exprimées sur les inconvénients d'introduire dans les principes qui servent de base à la science de la mécanique et particulièrement à la théorie du choc, des suppositions abstraites qui ont pour résultat d'éliminer le temps, cet élément indispensable à l'accomplissement des phénomènes mécaniques, et de vicier par conséquent tous les résultats des formules dans lesquelles existe cette omis-

sion. On ne saurait trop louer non plus la si judicieuse remarque de M. le général Poncelet, que la cohésion, l'élasticité, la chaleur, l'électricité jouent un rôle dans les phénomènes de la mécanique, et particulièrement dans celui du choc, que ce rôle n'est représenté par aucun terme dans les équations, et que les formules définitives qui en expriment les conditions sont par conséquent nécessairement incomplètes. Il signale avec non moins de raison le danger d'admettre dans toute sa généralité le théorème de Carnot, dont il reconnaît tout au moins l'inutilité : théorème qui, on ne peut se le dissimuler, conduit directement à considérer comme possible l'annihilation de la force, erreur équivalente à celle de la possibilité de sa création, ou mouvement perpétuel ; et enfin il fait appel à la science pour en revenir à l'étude de la mécanique expérimentale, telle qu'elle était comprise par Képler, Galilée, Newton, comme étant seule capable de ramener les savants à envisager les questions de mécanique sous un point de vue tel, que les résultats fournis par la réalisation des formules destinées à donner la solution de ces questions se trouvent d'accord avec les faits.

Ces réflexions, qui sont l'expression d'esprits droits qui allient la connaissance des hautes sciences analytiques avec ce qui leur a été indiqué par une observation vraie et profonde des faits et les nombreuses applications qu'ils ont été dans le cas d'en faire dans leur longue pratique, indiquent la voie dans laquelle doit entrer l'enseignement pour parvenir à opérer une réforme que réclame impérieusement la science de la mécanique, réforme dont la condition essentielle, indispensable, à laquelle, comme toute science humaine, elle doit satisfaire avant tout, c'est que les résultats qu'elle indique se trouvent toujours et partout d'accord avec l'observation.

L'ensemble de ces considérations fait pressentir de la manière la plus évidente, comme l'ont laissé entrevoir MM. Poncelet et Morin, la nécessité d'introduire d'importantes modifications aux principes qui servent de base à la mécanique rationnelle telle qu'on l'enseigne actuellement ; afin d'amener cette science à donner des résultats qui se trouvent d'accord avec ceux de la mécanique physique et expérimentale, il faut que le nouveau et grand principe de mécanique, qui vient d'être mis en avant, de l'indestructibilité de la force et de la persistance indéfinie du

mouvement, principe qui fait aujourd'hui de tels progrès, que l'on peut le considérer comme généralement admis, serve de base et soit comme le pivot ou fondement de toute la mécanique nouvelle.

Ce principe, dont l'application est restreinte en mécanique au cas où un corps mis une fois en mouvement, en vertu d'une force quelconque, conserve intégralement tout ce mouvement d'une manière indéfinie, n'introduit aucune modification dans la partie de la science qui traite de l'équilibre des corps entre eux, ni du mode suivant lequel la force se produit dans l'acte de leur rapprochement en vertu de l'attraction qu'ils exercent les uns sur les autres.

Nous nous résumerons donc en admettant que la science de la mécanique doit être divisée en trois parties distinctes, et qui se rapportent aux trois cas suivants :

1°. Lorsqu'il est question d'apprécier l'action des corps les uns sur les autres, considérés à l'état de repos ;

2°. Lorsque les corps, par suite de l'attraction qu'ils exercent les uns sur les autres, se sont mis en mouvement, et qu'il en est résulté une production de force ;

3°. Lorsque le mouvement étant produit dans un corps, il se conserve indéfiniment dans ce corps, ou qu'il se propage en se transmettant à d'autres corps.

La première partie constitue la statique ; ses lois sont simples, claires, précises, faciles à saisir ; tout ce qui a été fait et dit à cet égard est rationnel : il n'y a rien à y ajouter, rien à en retrancher. Ici il n'est point encore question de mouvement, mais on est obligé cependant, pour se rendre compte de l'action que les corps, dans leur état d'inertie ou au repos, exercent les uns sur les autres, de considérer les diverses parties qui composent les systèmes formés par leurs assemblages, comme étant liées entre elles d'une manière invariable, et de déterminer quels seraient les rapports de vitesse qui s'établiraient entre ces diverses parties, si elles se mettaient en mouvement avec des vitesses assez petites pour que l'on pût les considérer comme nulles. On sait, en effet, que le calcul et l'expérience s'accordent pour démontrer que, lorsque deux corps s'approchent l'un de l'autre, en vertu de leur attraction mutuelle, dans un intervalle assez petit pour que l'on puisse négliger leurs variations de

les considère, modification qui n'existe plus lorsque les corps sont en repos.

Mais si l'on reconnaît que le mouvement ou la force sont indispensables pour produire un effet dynamique quelconque, si faible qu'il soit d'ailleurs, on se demandera pourquoi un corps peut en écraser un autre par la simple pression qu'il exerce sur lui par son poids, et comment, dans les mêmes circonstances, il peut lui faire éprouver, avec le temps, des modifications qui ne sembleraient pouvoir être produites qu'au moyen d'un déploiement plus ou moins considérable de force, d'où l'on serait en droit de conclure qu'un acte de pure statique pourrait donner naissance à un effet dynamique. Pour éclaircir cette espèce de contradiction, je ferai remarquer que, d'après le mode sous lequel j'ai envisagé la génération de la force, il faut admettre qu'elle se crée ou se produit toutes les fois que deux ou plusieurs corps, se trouvant en présence, obéissent à leurs attractions réciproques et se mettent en mouvement lorsque rien ne s'y oppose. Or on sait qu'aucun corps n'est dépourvu d'une manière absolue d'élasticité, que par conséquent les parties ou molécules dont il est composé sont toujours séparées les unes des autres par des intervalles plus ou moins considérables; ces molécules doivent donc être maintenues dans les positions qu'elles occupent par des forces qui se font respectivement équilibre : en sorte que les plus légères variations d'intensité de ces forces doivent déterminer des variations analogues dans la position de ces molécules. Un effort, aussi petit que l'on pourra l'imaginer, suffira donc, lorsqu'il sera exercé sur un corps dans le sens des forces dont l'action est employée à diminuer son volume, pour commencer à faire approcher les unes des autres les molécules qui le composent, et l'intensité de ces forces devra très-probablement augmenter avec une grande rapidité, à mesure que le corps se comprimera en suivant une loi qui sera fonction de la quantité qui mesure la diminution de volume du corps, et qui aura pour limite l'espace dans lequel il est possible de le réduire par la compression; limite au delà de laquelle les parties qui composent le corps ne pouvant plus rester agrégées, se désunissent et entraînent sa rupture. On voit dès lors que l'acte même, quel qu'il soit, qui consiste à faire supporter un corps par un autre corps, ou à les placer l'un sur

l'autre, emporte nécessairement avec lui un mouvement qui se produit aux dépens de la diminution de volume des deux corps, diminution résultant du rapprochement des molécules en contact appartenant respectivement à chacun d'eux. Ce mouvement détermine donc une création de force qui, venant s'ajouter à la cause première, produit et perpétue les effets que l'on est convenu de désigner sous le nom de pression.

Indépendamment de cette action qui se produit d'une manière instantanée, au moment même où l'on place les corps les uns sur les autres, et qui entraîne toujours, quelque précaution qu'on prenne pour l'éviter, un certain déploiement de force, la pression, lorsqu'elle s'exerce pendant longtemps, produit un autre effet lent et continu qui paraît se prolonger pendant un temps indéfini, et produire dans certaines circonstances, quelque faible qu'elle soit, des effets auxquels on ne pourrait pas arriver au moyen de pressions infiniment plus considérables, dans un court espace de temps. Je me rappelle avoir vu en 1824, chez le docteur Wollaston à Londres, une petite pelote de beurre qu'il avait placée plusieurs années auparavant entre deux petits cahiers de papier non collé et qu'il avait chargée d'un poids léger : il me fit remarquer que, dans cet intervalle de temps, le papier avait absorbé une certaine quantité d'huile qui entrait dans la composition du beurre, et qu'il restait sur le papier une partie cristalline semblable à de la stéarine, qui, elle aussi, formait une des parties constituantes de ce corps gras. Cette action me paraît évidemment devoir être attribuée aux changements de température qui, faisant varier continuellement le volume des corps, ont aussi pour résultat de déterminer un véritable déploiement de force dans leur structure intime.

Ces changements de volume, en effet, proviennent de la variation d'intensité des forces qui maintiennent les molécules à la distance respective à laquelle elles se trouvent les unes des autres au moment où on les considère; lorsque celles de ces forces qui sollicitent les molécules à s'écarter deviennent prépondérantes sur celles qui tendent à les ramener au centre de gravité, le corps augmente de volume dans tous les sens, et si deux ou plusieurs corps soumis à ces actions se trouvent en contact en des points placés sur la même verticale qui passe par leur

centre de gravité, il en résultera un mouvement dans la masse des corps qui tendra à les faire graviter les uns sur les autres et transformer le mouvement moléculaire ou calorique en un mouvement de masse ou de déplacement. Ces variations de température ont donc pour résultat de produire des effets dynamiques réels et calculables, puisque l'on peut toujours apprécier l'espace parcouru par les corps qui se trouve mesuré par la différence de leurs dimensions linéaires, dans les écarts qui résultent de leurs dilatations et de leurs contractions successives, le temps employé à ces variations qui est fourni par l'observation d'où l'on déduit la vitesse, et enfin la quantité de mouvement ou effet dynamique qui est le produit de la masse des corps par le carré de cette même vitesse.

Les alternatives par lesquelles passe un corps en s'échauffant et se refroidissant augmentant et diminuant alternativement son volume doivent donc être assimilées à une suite de chocs répétés que ce corps fait éprouver à celui ou à ceux qui le supportent, et l'on sait qu'une action pareille, quelque faible qu'elle soit d'ailleurs, équivaut, avec le temps, aux plus grands efforts isolés que puissent exercer des corps en mouvement les uns sur les autres.

Les observations enfin des géologues ont fait voir que des corps durs placés en contact d'autres qui le sont moins, et soumis à ces actions lentes et légères, finissent, quelque faibles que soient ces actions, par s'imprimer les uns dans les autres, et laisser des traces quelquefois très-profondes de leurs contacts, et que les géologues ont souvent besoin d'avoir recours à ces actions pour expliquer divers phénomènes de formation et d'agrégation des diverses substances dont la réunion forme l'écorce du globe terrestre.

L'action d'un corps en repos qui pèse de son poids sur un autre corps par lequel il est supporté, ne peut donc être comparée ni assimilée en rien à l'acte par lequel un corps en mouvement communique et transmet ce mouvement à un autre corps; ainsi l'on ne peut employer le mot de *force* pour exprimer l'action qu'un corps en repos exerce sur un autre corps, sans s'exposer à désigner sous une même dénomination deux phénomènes qui n'ont aucun rapport entre eux, ce qui doit être sévèrement proscrit comme pouvant favoriser la propagation d'une idée à laquelle les esprits sont déjà malheureusement préparés depuis si longtemps.

La science de la statique réside donc dans l'application d'un seul et unique principe, celui de l'égalité qui existe toujours dans tout système de corps, en équilibre et au repos entre la puissance et la résistance multipliées respectivement par les vitesses qu'elles prendraient si les corps se mettaient en mouvement.

La seconde partie de la mécanique, partagée, ainsi que je l'envisage, en trois grandes divisions, comprend la période pendant laquelle les corps, en agissant les uns sur les autres par l'effet de leur attraction réciproque, se mettent en mouvement avec des vitesses toujours croissantes, en même temps qu'ils acquièrent la faculté de pouvoir transmettre à d'autres corps tout ou partie de cette modification qu'ils ont éprouvée eux-mêmes dans leur existence, et qui prend alors le nom de force. L'expérience nous montre que la force se transmet d'un corps à un autre, sans que jusqu'ici il ait été possible de pénétrer le mystère de cette communication. Si l'on cherche à remonter à la cause qui a déterminé un corps à se mettre en mouvement, on parcourt souvent une longue période de faits qui deviennent alternativement causes et effets, et comme les observateurs qui ont cherché à suivre les diverses phases des manifestations de la force, se sont vus dans l'impuissance de trouver une cause qui pût assigner à ces phénomènes une origine commune, on s'est borné jusqu'ici à considérer d'une manière vague la force comme pouvant être produite par un nombre indéfini d'agents indéterminés, tels que la force musculaire développée par les animaux, celle produite par le vent, les chutes d'eau, la vapeur des divers corps susceptibles de se volatiliser, etc., etc. Comme la grande devise de la création, économie et simplicité dans les moyens, richesse et variété dans les résultats, reçoit toujours son application sur la plus vaste échelle possible dans toutes les manifestations des œuvres du Créateur, et que l'on perd la trace des causes, qui, en se succédant, déterminent un corps à se mettre en mouvement, dans une foule de cas où l'observation fait reconnaître que, lorsque le mouvement vient à disparaître, il est constamment remplacé par d'autres phénomènes qui se représentent toujours à sa place de la même manière dans les mêmes circonstances, on peut et l'on doit faire entrer ces phénomènes dans la grande chaîne des diverses transformations qu'affecte la manifestation de la force, pour chercher à

découvrir s'il ne serait pas possible de rallier tant d'effets divers à une seule et unique cause. Mais l'adoption d'une idée qui n'est pas circonscrite dans les limites d'une sévère logique, qui lui sert de critérium pour la classer dans l'esprit avec la certitude qu'on peut la considérer comme l'expression de la vérité, entraîne toujours avec elle un laisser-aller qui amène à examiner peu scrupuleusement les conséquences que l'on en tire; aussi les auteurs qui s'étaient contentés de définir d'une manière si vague l'origine de la production de la force, avaient été amenés à penser que la force prenait naissance aux sources mêmes auxquelles ils attribuaient son origine, assimilant cette apparition à une véritable création ; et comme conséquence logique de cette première erreur, ils admettaient que la force ou le mouvement pouvait, suivant les circonstances, se modifier et même s'anéantir.

Les nouvelles idées qui ont surgi de toutes parts sur l'identité des causes qui produisent le calorique et le mouvement, sur la corrélation des forces physiques, comme les nomme si judicieusement M. Grove en portant son investigation sur l'ensemble de tous ces phénomènes, ont tellement laissé en arrière ces informes théories, qu'il est devenu aujourd'hui à peu près évident pour tous que l'on doit faire remonter les causes du mouvement bien plus haut qu'on ne l'avait fait jusqu'ici.

On voit, en effet, qu'il existe des rapports bien remarquables entre la force développée par l'eau vaporisée, dont on fait usage dans la machine à vapeur, et le combustible employé, et réciproquement entre la force qui, dans une foule de cas, disparaît, en même temps qu'un dégagement de calorique vient à se montrer à sa place; entre la production de la force animale et les phénomènes de l'électricité, avec lesquels cette production a des analogies si frappantes; entre la force que l'on se procure en faisant usage d'une chute d'eau et les phénomènes de l'évaporation dus à la chaleur qui, en replaçant l'eau dans les circonstances où elle se trouvait d'abord, permet de l'employer indéfiniment à produire les mêmes effets.

En suivant avec attention la corrélation de tous ces phénomènes dont les manifestations se présentent alternativement comme causes et effets, suivant la manière dont on les envisage, en assujettissant aux plus sévères investigations toutes les opinions qui ont été émises, les systèmes qui

ont été inventés pour en donner des explications, qui les rapportaient toujours à des causes isolées entre elles, on se sent invinciblément amené à adopter l'idée si fertile, si simple, de relier tous ces phénomènes entre eux par les nombreux rapports qui les caractérisent si éminemment, en leur attribuant une seule et même origine, et à se rallier à une théorie qui par son éclat fait ressortir plus vivement l'impuissance et l'inutilité de tout l'échafaudage que l'on s'était vu dans la nécessité d'élever pour justifier des suppositions dénuées de fondement et qui, entassées les unes sur les autres, n'avaient d'autre réalité que celle que leur attribuaient leurs auteurs.

L'examen approfondi des propriétés de la matière, des transformations qu'elle subit, des modifications qu'elle éprouve, des états qu'elle affecte, habitue l'esprit à généraliser la conception de son existence. A mesure que l'on fait ces rapprochements, on se trouve entraîné de plus en plus à reconnaître qu'il n'est pas possible, dans la nature, de rien soustraire à l'empire de l'existence matérielle, et lorsque l'on vient à se demander quel peut être, et comment il est possible de définir ce nouveau Protée que l'on nomme matière, qui échappe aux investigations de toute espèce faites pour le pénétrer, revêt mille formes qui paraissent n'avoir entre elles ni rapports ni analogies, on se demande s'il n'est pas plus sage, au lieu de se livrer à d'inutiles recherches sur son origine, sa nature, la forme qu'il affecte, toutes choses sans but, sans utilité comme sans résultats pour l'avancement de la science, de s'en tenir à la sage et prudente méthode qui consiste à s'arrêter où finit le domaine de la réalité et commence celui des spéculations et des hypothèses que rien dans le calcul ou l'observation des faits ne vient ensuite justifier. En suivant une marche si sage, on arrive à ne point s'occuper de la matière en elle-même et à substituer à la notion de son existence, comme l'a fait Boscovisch, à qui est due cette si ingénieuse et si remarquable conception, la considération de centres attirants, doués de la faculté de graviter les uns vers les autres, en raison directe des masses et inverse des distances qui les séparent.

Le question de l'existence de la matière envisagée sous ce point de vue donne à cette conception une généralité qui facilite beaucoup l'étude des modifications que lui fait éprouver le mouvement, et en envisageant

les effets du mouvement comme se rapportant tous aussi à une même origine, on arrive à assimiler au mouvement apparent des corps les phénomènes que l'on attribue à la lumière, à la chaleur, à l'électricité, à la puissance animale, qui tous doivent être considérés comme de simples effets dus au mouvement de la matière.

La recherche de la cause première à laquelle se rapporte l'origine du mouvement, s'étend à un champ beaucoup plus large. En effet, on peut, sans crainte de dévier à la loi déjà tracée, considérer la chaleur comme due au mouvement des molécules matérielles, qui, sous toutes les formes, reçoivent et se transmettent le mouvement dont elles sont animées ; admettre que cette chaleur, en se dégageant, sous forme de gaz, du combustible dont nous faisons usage dans nos foyers, réduit l'eau en vapeur; et que cette vapeur dépositaire du mouvement qu'elle a reçu, le communique au piston de la machine, pour de là recevoir indéfiniment d'autres transformations.

On peut suivre également le mouvement des molécules matérielles, lorsque, séparées des corps auxquelles elles appartiennent par le mouvement excité en elles par le jeu du plateau de la machine électrique, ces molécules se trouvent retenues par l'attraction ou force centripète autour des conducteurs, en suivant les lois de Képler, et accomplissant autour d'eux leurs révolutions de la même manière que les satellites autour des astres principaux. Il en est probablement de même de l'anneau magnétique qui embrasse la terre : la seule différence réside dans la dimension des satellites qui est réduite ici à celle d'une simple molécule, ce qui n'implique aucune contradiction avec les idées admises sur la relation de grandeur qui existe entre les planètes et leurs satellites.

Lorsque enfin on observe attentivement les rapports qui lient les phénomènes de la production de la force animale avec ceux de la chaleur et de l'électricité, on reconnaît bien vite que, quoiqu'il soit impossible sans doute de suivre pas à pas le phénomène de la production de la force chez les animaux ; on peut cependant, ici comme ailleurs, se laisser guider par l'induction et considérer la force, la chaleur, l'électricité comme corrélatives et ne pouvant exister que les unes aux dépens des autres ; on peut aussi très-bien admettre que les aliments dont se nourrissent les animaux sont formés par des assemblages de molécules matérielles, qui,

comme les systemes planétaires, sont douées de mouvement, inhérent à elle-mèmes, et que le mouvement de ces molécules peut, sous l'empire de l'organisation animale, se transmettre aux divers organes dont l'ensemble compose l'individu pour être ensuite dirigé par la volonté, puissance qui émane plus directement encore que la matière de la main du Créateur.

L'observation indique donc que partout où l'on observe cette modification à l'existence de la matière, que l'on est convenu de désigner sous le nom de mouvement ou de calorique, puisque nous admettons que l'un et l'autre sont identiques et ne diffèrent que par la forme, on peut suivre indéfiniment les traces de ces modifications, modifications qui se présentent sous une multitude de formes qui paraissent au premier aspect n'avoir aucun rapport entre elles, sans jamais arriver à une cause unique que l'on puisse considérer comme en étant la source première.

La matière cependant est inerte, c'est-à-dire qu'elle ne recèle pas en elle-même la puissance de se mettre en mouvement, ni encore moins, à plus forte raison, de le communiquer, puisqu'une chose pour être transmise doit commencer par exister. Cependant nulle part la matière n'est en repos, sous quelque forme que ce soit, à l'état d'électricité, de calorique, de lumière, vapeurs, liquides, corps organisés ou inertes, satellites, planètes, étoiles; elle se meut dans tous les sens, de mille manières et probablement dans une infinité de directions qui nous sont inconnues; et comme ce mouvement n'a pu se créer de lui-même, ne convient-il pas, avant de l'attribuer à un acte spécial du Créateur, de rechercher s'il n'est pas possible de le faire découler d'une loi plus générale, ce qui donnerait à cette recherche un caractere qui tendrait à se rapprocher encore davantage de l'unité d'action qui forme le cachet le plus saillant des œuvres de Dieu.

Examinons donc comment le mouvement a pu prendre naissance pendant les phases qui ont suivi immédiatement la création de la matière.

La Genèse nous enseigne qu'alors la matière existait à l'état de chaos, et l'on peut présumer qu'au *fiat lux* elle fut douée de l'attraction et que la lumière, ou le mouvement, commença à modifier son existence. Si l'on suppose qu'à ce moment, que l'on doit considérer comme l'origine du temps, la matière était distribuée symétriquement dans l'espace,

les molécules matérielles ont dû faire élection comme centres d'action des molécules les plus voisines, placées au milieu d'elles, dans la circonscription la plus restreinte possible, et graviter les unes vers les autres en suivant les lois de Képler. Ces molécules ainsi groupées ont formé des agrégations élémentaires régulières composées de sept molécules, si des circonstances particulières déterminaient la matière à se constituer en nappes et de treize lorsque, par suite d'autres causes, leur réunion s'opérait tout à l'entour du centre de gravité, présentant, dans l'un et l'autre cas, la plus grande analogie avec les parties les plus ténues qui constituent les flocons de neige tels qu'on les observe avec l'aide des plus puissants instruments dont peut disposer l'optique moderne.

Ces assemblages ont dû, eux-mêmes, se réunir en suivant les mêmes lois et ainsi de suite, jusqu'à ce qu'il en soit résulté des systèmes plus étendus qui, sous toutes les formes, ont constitué la matière appelée par Dieu à remplir le rôle qu'il lui avait destiné, et telle que nos sens nous permettent actuellement de l'apercevoir et de l'apprécier en nous mettant en communication avec elle.

La tendance générale de tous ces corps, constituant la matière à quelque état que ce fût, a été de graviter vers le centre de gravité de toute la masse; ceux qui étaient les plus rapprochés de ces centres ont dû y parvenir les premiers et les plus éloignés ont dû traverser dans tous les sens les systèmes qui s'étaient formés d'abord et déterminer, dans leur ensemble, des effets analogues à ceux qui sont produits par la chaleur et les mouvements dans les corps tels qu'ils se présentent à nos observations. Ceci nous amène à considérer l'attraction comme une cause première émanant directement, ainsi que la création de la matière, d'un acte de la volonté de Dieu. Sans doute il n'est pas impossible que l'on puisse découvrir plus tard que l'attraction elle-même n'est qu'une conséquence d'une loi plus générale, renfermant en elle-même plus implicitement les moyens d'expliquer les effets que l'on attribue à l'attraction; mais cela n'infirmerait en rien les conséquences que l'on pourrait tirer d'un fait que l'on aurait considéré jusque-là comme cause première, mais qui se trouverait seulement placé dans la chaîne des phénomènes qui, après avoir été regardés comme

causes, sont reconnus ensuite n'être eux-mêmes que l'effet d'une cause encore plus élevée. Mais comme ces considérations ne peuvent être absolument que métaphysiques, puisque l'observation ne peut s'élever au delà du fait constatant que deux corps, qui se trouvent en présence, gravitent l'un vers l'autre, en vertu de la force à laquelle on a donné le nom d'attraction, il me paraît plus sage de ne pas aller plus avant pour pénétrer un mystère que jusqu'ici rien, à notre connaissance, ne me paraît pouvoir expliquer.

Nous considérerons donc la matière comme existant, à l'origine du temps, disséminée symétriquement d'une manière régulière dans l'espace, et l'attraction comme une propriété essentielle dont elle est douée et en vertu de laquelle les diverses parties ou molécules qui la composent possèdent en elles-mêmes la faculté de s'attirer réciproquement, en raison directe des masses et inverse des carrés des distances qui les séparent. Cette faculté qui modifie l'existence des corps, en les déterminant à passer de l'état de repos à celui de mouvement, devient la véritable cause de l'apparition de la force. Nous allons suivre en détail et pas à pas les circonstances de ce phénomène pour chercher à bien nous en pénétrer et définir quels en sont les résultats et les conséquences.

Et d'abord il est évident que, puisque l'attraction a lieu en raison directe des masses, l'intensité de son action sera d'autant plus grande que la cause qui la produit le sera davantage. S'il était possible d'établir le rapport primordial qui existait avant l'origine du mouvement entre la distance à laquelle les centres d'action se trouvaient les uns des autres et l'espace qu'ils occupaient, la connaissance de ce rapport pourrait permettre d'exprimer par une quantité finie les circonstances du mouvement des diverses parties d'un système dont tous les éléments convergent vers un même centre d'action; mais comme tous les termes de cette échelle, depuis les centres d'action les plus élémentaires jusqu'à ceux qui embrassent les plus immenses espaces auxquels notre imagination puisse atteindre, sont indifférents pour constater les phénomènes, nous prendrons nos exemples parmi les effets qui se passent sous nos yeux et peuvent être constatés par une observation directe, comme la pesanteur à la surface de la terre, la vitesse des planètes autour du soleil, et celle de leurs satellites autour d'elles. La première chose qui se pré-

sente ici à considérer, c'est la manière dont s'exerce la faculté que possèdent les corps de s'attirer les uns les autres, faculté à laquelle on a donné le nom d'attraction. L'observation indique que cette action est entièrement indépendante d'autres actions pareilles qui s'exercent entre des corps et que les nouvelles actions viennent simplement s'ajouter aux premières, sans les modifier ni en être modifiées en rien : c'est ainsi que tous les mouvements que nous exécutons à la surface de la terre sont indépendants de ceux dont elle peut être animée dans différents sens, et dont les êtres qui l'habitent ne se doutent pas le moins du monde. Il suit de là qu'un corps ne peut être mis en mouvement et acquérir de la vitesse que par des actions successives qui durent aussi longtemps que la cause qui agit pour produire cet effet. On en conclut que lorsque les circonstances qui déterminent l'intensité avec laquelle les corps agissent les uns sur les autres, en vertu de leur attraction, ne changent pas, chaque instant infiniment petit qui s'écoule vient ajouter à l'effet produit un nouvel effet semblable au premier, et comme l'on est convenu de mesurer l'intensité de la gravité, soit l'attraction terrestre, par la vitesse qu'elle fait acquérir à un corps mobile, dans un temps donné, supposition que l'expérience a confirmée, il s'ensuit que ces vitesses vont toujours augmentant de quantités égales dans des temps égaux, et que les espaces que parcourt le mobile assujetti à l'action de la pesanteur depuis l'origine de son mouvement, sont entre eux comme les sommes de ces quantités ou comme les carrés des temps ou des vitesses.

Cela posé, considérons le mouvement de deux molécules isolées dans l'espace, obéissant à leurs actions réciproques : ces molécules graviteront l'une vers l'autre en augmentant de vitesse et parcourant des espaces qui seront fonction du temps qui s'est écoulé depuis l'origine de leur mouvement, jusqu'au moment où elles parviendront à leur centre commun de gravité ; arrivées à ce point, où leur vitesse sera la plus grande possible, elles le dépasseront en vertu de la quantité de mouvement dont elles seront pourvues, en s'éloignant l'une de l'autre, jusqu'à ce qu'elles soient venues occuper, en changeant de position, la place qu'elles occupaient avant l'origine du mouvement.

Or c'est l'acte lui-même du rapprochement des molécules qui devient la cause efficiente de la force qui a donné naissance au mouvement, et

c'est dans l'éloignement des molécules que cette même force, que ce même mouvement a disparu, sans qu'il en soit resté aucune trace après l'événement accompli. L'intensité de cette force, mesurée par la vitesse des corps, est toujours une fonction de la quantité qui représente l'espace parcouru par les corps pour se rapprocher l'un de l'autre, et cette vitesse devient une quantité positive que rien ne peut détruire, et qui se conserve et se propage d'une manière indéfinie dans le corps qui en est affecté, à moins qu'elle ne se transmette à un autre corps, et ainsi de suite.

Le mouvement, ou force qui est le résultat de cette vitesse, a lui-même une existence indépendante de celle du corps qui en est affecté. Cette existence se perpétue à travers toutes les phases que parcourt le mouvement en passant d'un corps à un autre, jusqu'à ce que ces corps, venant à se trouver dans une phase opposée à celle dans laquelle ils étaient, lorsqu'ils ont commencé à se mettre en mouvement, s'éloignent l'un de l'autre d'une quantité égale à celle dont ils s'étaient rapprochés d'abord, et parcourent un espace qui a pour effet de faire disparaître ou dissimuler, si je puis m'exprimer ainsi, le phénomène qui avait été le produit de leur rapprochement, jusqu'à ce qu'une nouvelle circonstance, pareille à celle qui lui avait donné naissance, vienne le faire réapparaître.

S'il n'avait existé, à l'origine des temps dans l'univers, que deux seules molécules, elles auraient oscillé indéfiniment, quel que fût leur rapport de masse, l'une en face de l'autre, sans jamais s'écarter de la droite sur laquelle elles se seraient trouvées placées. Dès que l'on en considère plus de deux ayant des masses inégales, le mouvement ne peut plus exister en ligne droite, parce qu'elles exercent les unes sur les autres des actions ou perturbations qui les forcent inévitablement à décrire des courbes qui sont représentées par des équations du second degré. En considérant donc une portion de l'espace circonscrite dans l'étendue qui a pour centre de gravité le soleil et pour limites les points où les molécules qui occupent ces points sont également attirées par lui et par les étoiles les plus rapprochées dont il est environné, on peut calculer qu'à un moment donné la quantité de mouvement qui existe dans le système solaire est une fonction de l'espace parcouru par chacune de ces

molécules pour parvenir du point où elles se trouvaient à l'origine de leur mouvement jusqu'à celui où elles se trouvent au moment où on les considère.

Cette quantité de mouvement existe d'une manière apparente pour nous dans les planètes, leurs satellites et les comètes; elle représente l'espace parcouru par les parties matérielles dont elles sont formées pour venir se placer du point où elles étaient originairement à celui où elles se trouvent. Mais ces molécules, tout en gravitant vers le centre de gravité général, n'en ont pas moins obéi pendant leur marche à leurs actions réciproques; des centres de gravité partiels se sont formés, et autour de ces centres sont venus se grouper, toujours en suivant les mêmes lois, les molécules qui se trouvaient dans leur sphère d'attraction respective, en conservant les vitesses et les quantités de mouvement relatives à l'espace qu'elles avaient parcouru pour arriver à ces centres secondaires. D'autres centres enfin, inappréciables à nos sens, ont déterminé, toujours en suivant les mêmes lois, les molécules à se grouper en conservant les vitesses qu'elles avaient acquises, pour former les corps que l'on a qualifiés du nom d'impondérables dans les différents états sous lesquels ils se présentent à nous à la surface de la terre. La vitesse dont sont animées les molécules qui composent ces corps, et la quantité de force ou de mouvement qu'ils recèlent en eux, deviennent cependant apparents dans une foule de circonstances qui nous ont d'abord révélé leur existence, et une observation attentive des faits nous a permis ensuite de mesurer en quelque sorte ces vitesses, d'apprécier la force qui en était le résultat, et de s'assurer qu'une corrélation intime existe entre les mouvements moléculaires de la matière isolée et les mouvements apparents de cette même matière à l'état de corps constitués et perceptibles à nos sens. Cette force qui existe dans les corps, dissimulée sous l'apparence du repos, représente en petit celle qui existe dans les grands assemblages des corps célestes. Lorsque nos yeux aperçoivent, au moyen des plus puissants instruments dont la science de l'astronomie peut disposer, une des innombrables nébuleuses qui peuplent le ciel, nous ne pouvons distinguer aucun mouvement qui nous indique que les diverses parties qui la composent ne sont pas en repos; elle présente l'aspect d'une tache laiteuse, avec des apparences qui la font beaucoup ressem-

bler aux corps que nous observons à la surface de la terre, et particulièrement à certains précipités floconneux qui sont le résultat de décompositions chimiques opérées dans des circonstances particulières; mais si nous pouvions nous rapprocher assez de ces nébuleuses, toutes ces apparences s'évanouiraient, et nous y verrions apparaître très-probablement, sous toutes les formes, la vie et le mouvement. Si par contre Dieu permettait que nos organes devinssent assez perçants pour apercevoir les molécules dont sont composés les corps que nous soumettons à nos investigations, nous serions émerveillés de voir les plus petits atomes composés de parties qui se sont groupées suivant les mêmes lois qui partout régissent la matière de la même manière, et exécutent leurs mouvements comme ceux des corps célestes. Sans doute, ce n'est point de cette manière et en ne consultant que le témoignage de nos sens qu'il a été possible d'arriver à ces conclusions; mais l'analogie des effets du calorique et de l'électricité avec ceux de la force a donné lieu d'établir des comparaisons qui, à force d'être répétées de mille manières dans une infinité de circonstances diverses, sont devenues si concluantes, qu'il a fini par devenir impossible de résister à l'évidence.

On reconnaît du reste ici, comme partout et toujours, l'inépuisable bonté de Dieu et la sagesse infinie de sa Providence, qui dès l'origine de la formation de l'univers a prodigué les dépôts de la force, véritable véhicule de la vie et du mouvement, pour en user suivant nos besoins et l'appliquer à tous nos usages; aussi chacun aujourd'hui, imbu de cette grande idée, n'ose-t-il presque plus nier que les phénomènes du calorique et de l'électricité prennent leur source dans les actions de la matière en mouvement, mais réduite à un état plus ou moins voisin de celui des molécules qui, par leur réunion, constituent les corps tels qu'ils se présentent à nos sens.

Cela posé, cherchons à définir quelles sont les lois qui sont la conséquence de ces considérations.

Si l'on suppose deux molécules de masses égales m, m' (*fig.* 1) à distance dans l'espace, elles graviteront l'une vers l'autre en oscillant indéfiniment autour de leur centre de gravité placé en un point C à la moitié de la distance qui les sépare, sans jamais s'écarter de la droite xx' qui passe par les points sur lesquels sont placées ces molécules.

Si, au lieu d'être égales, l'une d'elles, m' par exemple, devenait plus considérable que m, comme l'attraction de ces molécules est en raison directe de leurs masses qui deviendraient alors une quantité constante, les vitesses qu'elles prendraient et les espaces qu'elles parcourraient seraient proportionnels à ces masses, puisque les conditions du mouvement de ces molécules seraient fonction d'une même variable affectée seulement, dans les deux cas, de la quantité constante qui représente leur masse. Le centre de gravité qui, avant l'origine du mouvement, se trouvait placé à des distances de chacune d'elles proportionnelles à leurs masses, resterait donc invariablement au même point, quels que fussent les mouvements de ces molécules.

Il suit de là que dans toutes les positions où se trouveront ces molécules, eu égard au centre de gravité, leurs distances respectives à ce centre seront toujours les mêmes que si ces molécules se trouvaient en équilibre par l'effet de l'attraction qu'exerce sur elles une masse puissante comme la terre qui agit en même temps sur toutes ces molécules. Les lois de la statique pourront donc aussi être employées pour déterminer les circonstances du mouvement des corps, lorsqu'ils passent de l'état de repos à celui de mouvement.

On parviendrait à des résultats analogues en considérant trois molécules m', m'', m''' (*fig.* 2) disposées symétriquement aux sommets des trois angles d'un triangle équilatéral. En effet, l'espace parcouru par chacune des molécules pour s'approcher des deux autres aurait évidemment lieu suivant la droite mC qui partage en deux parties égales chacun des angles du triangle. Les trois molécules, arrivées en même temps en C au centre de gravité, continueront leur marche et viendront occuper les positions $m_{,}$, $m_{,,}$, $m_{,,,}$ opposées à celles où elles se trouvaient d'abord, et partiront de là pour recommencer une suite indéfinie de semblables oscillations. Si la masse de chacune des molécules m', m'' (*fig.* 3) devenait de plus en plus considérable, m''' restant la même, le centre de gravité tendrait à s'éloigner de m''' et finirait par arriver en C au milieu de la droite qui passe par les molécules m', m''.

La molécule m''' oscillerait alors évidemment entre m', m'' en parcourant la diagonale du parallélogramme dont les côtés sont formés par les quatre points m', m'' m''', $m_{,,,}$; et comme la nature de ce mouvement est

indépendant de l'angle m', m''', m'' formé par les trois molécules m', m''', m'', si on suppose que cet angle devienne de plus en plus grand, cette diagonale ira toujours en diminuant dans la même proportion, et finira par s'évanouir lorsqu'il atteindra 180 degrés; l'action des deux molécules m', m'' sur m''' deviendra nulle alors pour la faire osciller, et m''' restera au repos; et ici encore nous retrouverons la même analogie avec la manière dont les choses se passent en statique, lorsque l'on exprime en grandeur et en direction l'action simultanée de deux corps par les côtés d'un parallélogramme dont la diagonale représente la direction et l'intensité de leur résultante.

Pendant le mouvement de m''', l'intensité d'action que les molécules m', m'' exercent sur elle, pour lui faire parcourir la diagonale m''', m_{m}, sera toujours fonction de l'angle m', m''', m''; cette action sera à son maximum en m'' et nulle en C, et l'on pourra toujours représenter les circonstances du mouvement de la molécule m''' en fonction du temps, de la vitesse ou de l'espace, lorsque l'on connaîtra les masses de ces molécules et l'angle m', m''', m'' de leurs directions.

Si les masses des trois molécules m', m'', m''' (*fig.* 4) étaient égales, et qu'elles fussent disposées sur une même droite à des distances égales les unes des autres, on pourrait, sans erreur sensible, considérer l'action de m' sur m'', m''' comme s'exerçant sur le centre C de gravité de ces deux molécules; mais en même temps que ce centre marcherait vers m', m'' graviterait vers m''' et s'éloignerait de m', par l'effet de ce mouvement, autant qu'elle s'en approcherait comme faisant partie du système m'', m'''. Cette molécule resterait donc en repos, conclusion du reste à laquelle on arrive aussi directement en considérant que m'' est autant attirée par m' que par m''' : qu'elle ne peut, par conséquent, acquérir aucune vitesse, et qu'il n'y a dès lors aucun mouvement possible; et comme la force et le mouvement ne sont que la conséquence de la vitesse, il ne peut y avoir de force là où la cause de la vitesse n'a pas existé.

Nous allons examiner enfin le cas où il existerait dans l'espace quatre molécules m', m'', m''', m'''', (*fig.* 5), les deux premières m', m'' retenues à la place qu'elles occupent par des forces égales et opposées à celles qui tendent à faire varier leurs positions; et les deux autres m''', m'''', placées

chacune respectivement dans la sphère d'attraction de m' et de m'', se trouvent libres d'obéir à toutes les actions des autres molécules qui composent le système.

Si sur la ligne y, y' qui passe par les points occupés par les molécules m''', m'''', on prend une longueur m''', $m_{,,,,}$ qui représente l'intensité d'action que la molécule m'''' exerce sur m''' lorsque la différence de l'action exercée par m' et par m'' sur m''', en raison de leurs masses et de la distance à laquelle elles se trouvent de m''', est représentée par la longueur de la ligne $m'\ m'''$, qui mesure la distance à laquelle se trouvent ces deux molécules l'une de l'autre; que l'on forme le parallélogramme des forces m', m''', $m_{,,,,}$, $m_{,,,}$ et que l'on tire la diagonale m''', $m_{,,,}$, il est évident qu'à l'origine du mouvement de m''' pour graviter vers m', m'''' agissant aussi sur elle suivant la direction $y\ y'$, cette molécule m''' se dirigera pendant un temps infiniment court suivant la diagonale $m'''\ m_{,,,}$; mais comme pendant ce mouvement, m'''' en se rapprochant de m'' s'éloignera de m''', l'action que les deux molécules m''', m'''' exercent l'une sur l'autre ira en diminuant pendant que celle de m' sur m''' augmentera; d'où il suit qu'indépendamment de toute autre considération, la molécule m''' parcourra une courbe s, s' dont la nature sera déterminée par l'action qu'exercent les molécules m', m'', m'''' sur la molécule m''' en chacun des points de cette courbe : il deviendra donc possible de parvenir à l'intégration de la fonction différentielle qui exprime la vitesse et la position de la molécule m''' sur la courbe s rapportée à des coordonnées arbitraires x, x', y, y', lorsque l'on connaîtra à un moment donné toutes les conditions des actions que ces molécules exercent les unes sur les autres.

Si l'on envisage actuellement les actions réciproques de m', m''' l'une sur l'autre en supposant que m', tout comme m''', est libre d'exécuter les mouvements qui sont la suite de l'attraction que ces deux molécules exercent l'une sur l'autre, on pourra considérer la courbe que décrira la molécule m''' autour de m', et réciproquement celle de m' autour de m''', comme étant le résultat de deux actions en vertu desquelles ces molécules oscillent l'une autour de l'autre, perpendiculairement à deux axes qui se coupent à angle droit, en passant par le centre commun de gravité. La moyenne distance qui séparera de ces axes chacun des

points de ces courbes dans leurs plus grandes élongations, sera une fonction des composantes de la quantité de mouvement développée par le rapprochement réciproque des molécules qui composaient le système en supposant ces mouvements décomposés suivant la direction de ces axes : et la vitesse de chacune des molécules, quel que soit le point de la trajectoire qu'elles décrivent où on les considère, sera mesurée par l'espace qu'elles auraient dû parcourir en vertu de la seule attraction qu'elles auraient dû exercer l'une sur l'autre pour acquérir cette vitesse, vitesse toujours suffisante, par conséquent, pour ramener chacune de ces molécules à ce même point d'où elles étaient parties à l'origine de leur mouvement.

Les effets de l'attraction ont donc pour résultat de déterminer les corps à sortir de cet état de mort que l'on a appelé *inertie*, et à se mettre en mouvement, acte qui constitue la véritable vie de la matière, et de déterminer aussi entre eux des rapports de vitesse et de position, dont l'étude a amené Képler, et après lui Newton, à la connaissance des trois lois qui portent le nom du premier de ces hommes illustres : vastes génies que l'on peut considérer, l'un et l'autre, comme les pères de l'astronomie moderne.

L'attraction renferme donc en elle-même tous les éléments nécessaires pour expliquer les actions de toute espèce que les corps exercent les uns sur les autres, tant sous le rapport statique, que sous le rapport dynamique ; et les lois qui régissent la mécanique céleste en sont une conséquence immédiate, sans qu'il soit besoin d'avoir recours à aucune autre cause étrangère, dont on pourrait avoir l'idée d'invoquer la nécessité pour expliquer la formation de l'univers.

Il me reste à examiner de quelle manière se transmet la force lorsqu'elle est devenue apparente, et c'est ce que je vais faire actuellement en cherchant à poser les principes fondamentaux de cette partie de la science.

La troisième partie de la mécanique qui doit faire le sujet de mes réflexions a pour objet de déterminer comment, de quelle manière et suivant quelles lois le mouvement, lorsqu'il a été développé dans un corps par les causes qui peuvent lui donner naissance, peut se transmettre par voie de contact ou par le choc entre des corps qui en sont

pourvus, soit que ces corps se trouvent en repos, soit que, par l'effet d'une cause antérieure quelconque, ils se trouvent déjà en mouvement.

La quantité de mouvement dont est pourvu un corps, que l'on désigne sous le nom de *force*, lorsqu'on veut exprimer les effets que l'on pourrait obtenir de ce mouvement en l'employant à divers usages, doit nécessairement, ainsi que nous l'avons vu, se conserver indéfiniment sans qu'elle puisse éprouver dans aucun cas aucune altération dans son intensité. Il faut donc, de toute nécessité, que si elle diminue ou augmente dans le corps qui en est pourvu, ce corps ait transmis à un autre corps une partie du mouvement dont il était animé, ou qu'il en ait reçu de quelque autre une certaine quantité, précisément égale à celle que cet autre a perdue.

Or examinons quelle est la conséquence de ce principe devant lequel doivent évidemment fléchir toutes les théories qui ne lui sont pas conformes.

Les physiciens et les géomètres, s'apercevant que le mouvement ou la force apparente dont étaient pourvus les corps allaient continuellement en diminuant, à mesure que dans leurs contacts réciproques, leurs rencontres, leurs chocs, la vitesse, et par conséquent la quantité de mouvement dont ils étaient pourvus, diminuait, concluaient que dans ces circonstances la force pouvait disparaître, s'anéantir en quelque sorte; mais cependant, comme ils avaient observé que dans ces sortes de cas la disparition de la force qu'ils avaient constatée était considérablement influencée par la nature même des corps, qui dans leurs contacts faisaient échange de tout ou partie de leur mouvement, à tel point même que pour quelques-uns on ne pouvait constater dans le choc, que l'on considérait comme la cause la plus efficiente de la perte de force, aucune diminution sensible de vitesse, tandis que chez d'autres le mouvement paraissait être complétement anéanti dans cet acte, ils imaginèrent de diviser les corps en deux grandes classes douées chacune d'une faculté bien distincte qu'ils appelèrent l'une l'*élasticité* et l'autre la *dureté*, qualités qui affectaient la constitution de tous les corps, et se manifestaient chez eux mêlées et confondues en toutes proportions; mais sans que toutefois l'on eût jamais pu constater l'existence d'un corps ni parfaitement incompressible, ni parfaitement élastique, mais

seulement celle de substances plus ou moins approchées du premier état, comme les liquides, ou du second, comme les gaz.

Cette division, adoptée à une époque où l'on n'envisageait nullement la question de la communication du mouvement comme elle l'est aujourd'hui, a introduit dans la science, telle qu'elle est actuellement enseignée, une inextricable confusion. Il résulte de ce mode d'envisager les phénomènes physiques que les principes sur lesquels est basée la connaissance de la partie de la mécanique qui traite du choc des corps, sont entachés d'une foule de contradictions; que ces principes, dans certains cas, s'accordent avec les véritables lois de la conservation absolue et indéfinie du mouvement, et s'en écartent dans d'autres à l'ombre d'espèces de réticences qui ne permettent jamais de comprendre si l'on doit accepter comme sérieuses les expressions que les auteurs emploient à chaque instant dans les Traités de Mécanique, telles que celles de forces détruites, de forces produites, ou si l'on doit considérer ces expressions comme destinées à qualifier des phénomènes que l'on n'avait pn rapporter jusque-là à aucune cause qui fût de nature à en donner une explication satisfaisante, et que, faute de mieux, on s'était contenté d'exprimer par les effets apparents que manifestaient ces phénomènes.

Le principe que j'ai cherché à démontrer et qui jusqu'ici m'a servi de point de départ, et qui du reste n'est pas nouveau, puisque déjà il avait été formulé par Descartes à peu près dans les mêmes termes où je l'exprime, c'est que la force une fois produite a une existence propre aussi réelle, aussi bien constatée que celle de la matière même qui en est affectée; que cette existence, pas plus que celle de la matière, ne peut être créée, ni annihilée, ni modifiée par quelque cause que ce soit, et que dès lors toute doctrine qui conduit à des résultats en opposition avec les conséquences que consacre ce principe, doit être considérée comme le fruit d'une erreur et abandonnée, quelle que fût d'ailleurs la confiance qu'elle eût inspirée et le degré de certitude qu'on y ait attaché jusque-là. Il est donc important de suivre pas à pas tout ce qui a été fait et dit jusqu'ici pour établir la science de la mécanique, et particulièrement la partie de cette science qui se rapporte à la théorie du choc; on doit aussi ne pas hésiter à abandonner tout ce qui, dans cette

science, se trouve d'une manière directe ou indirecte, non-seulement en opposition, mais encore ne concorde pas parfaitement, et jusque dans ses dernières conséquences avec le grand principe de la conservation indéfinie du mouvement. Pour en arriver là, il faut nécessairement admettre que les effets qui sont produits par les corps dits *impondérables* sont de véritables manifestations de la force, et que ces corps et les effets qu'ils produisent, entièrement identiques avec les corps auxquels la science n'a pas refusé de reconnaître l'existence matérielle, doivent être considérés comme faisant partie de la grande chaîne qui lie entre eux tous les êtres qui servent alternativement de véhicule au mouvement lorsque, dans les transformations qu'il éprouve en les parcourant successivement, il revêt des formes qui sont en rapport avec la nature, la masse et l'état de ces corps ; et c'est en faisant entrer dans cette grande chaîne la classe de phénomènes se rapportant aux manifestations de la lumière, de la chaleur, de l'électricité qui jusqu'ici en avaient été exclus, ou plutôt que l'on n'avait jamais eu l'idée d'y faire entrer, que l'on parviendra à suivre pas à pas et sans perdre ses traces la manière dont le mouvement se manifeste et affecte l'existence des corps, et aussi les lois qu'il suit en se communiquant des uns aux autres et en les parcourant successivement.

Ayant établi ce point capital de la nouvelle doctrine que je considère actuellement comme admis, que l'origine du mouvement doit être rapportée à l'époque où les molécules ou centres d'action, partant du repos, ont commencé à graviter les unes vers les autres, la première conséquence que j'en tire c'est que le mouvement a dû affecter d'abord individuellement les molécules matérielles, et que la première source du mouvement a dû résider dans les manifestations de ces mouvements isolés que je considère comme constituant les fluides impondérables, la lumière, la chaleur, l'électricité, le magnétisme et autres manifestations possibles de la matière qu'il ne nous a pas été donné jusqu'ici de connaître, ni même de soupçonner. Ces molécules en mouvement, exerçant les unes sur les autres des actions de diverses espèces qui toutes étaient la conséquence de la loi générale de l'attraction à laquelle elles étaient soumises, se sont réunies en groupes, lorsque des circonstances favorisaient ces combinaisons, et ont dès lors réuni les conditions nécessaires pour

devenir apparentes à nos sens. Réunies entre elles et formant par leur ensemble des corps constitués, solides, liquides ou gazeux, elles ont conservé la vitesse de translation qu'avait acquise le centre de gravité autour duquel elles s'étaient groupées, et le mouvement s'est manifesté à nos sens en se montrant avec des variations de forme relatives aux divers états par lesquels il faisait passer lui-même la matière, et en déterminant des variations dans les rapports de position qui existaient entre les diverses parties de ces corps.

Cela posé, cherchons à faire l'application de ces principes à la résolution des diverses questions qui ont pour objet de déterminer de quelle manière se comportent les corps en mouvement dans leurs contacts, leurs rencontres, ou leurs chocs, quelles sont les lois qui en découlent et qui peuvent servir à en calculer les effets et les diverses circonstances ; et voyons si, en envisageant la question sous ce point de vue, nous arriverons aux mêmes résultats que ceux auxquels conduit la science de la mécanique telle qu'elle est actuellement enseignée.

Je vais d'abord chercher à établir que l'on peut assimiler les effets qui résultent du choc des corps entre eux à ceux produits par la gravité lorsque cette force agit négativement sur eux pour leur faire perdre le mouvement dont ils étaient pourvus. Si l'on considère, en effet, que le choc n'est autre chose qu'un acte pendant lequel un corps se dépouille de tout ou partie du mouvement dont il était pourvu, pour le transmettre à un autre corps, on s'apercevra bien vite, en y réfléchissant un peu, que c'est aussi de cette manière que se passent les choses lorsqu'un corps en mouvement s'éloigne de la terre, et que les effets qui sont obtenus dans les deux cas finissent par arriver à produire sensiblement les mêmes résultats.

Prenons pour exemple l'action de la gravité exercée sur un corps par la terre pendant une seconde de temps ; nous savons que dans ce cas la vitesse, nulle d'abord, croît en progression arithmétique et finit, à la fin de ce temps, par acquérir une vitesse telle que, si la gravité cessait tout à coup d'agir sur le corps, et que cette vitesse restât la même, elle ferait parcourir au corps un espace de dix mètres par seconde : d'où l'on conclut que puisque à l'origine du mouvement la vitesse du corps était nulle et de dix mètres à la fin, la vitesse moyenne aura été de cinq

mètres et que le corps aura parcouru par conséquent un espace de cinq mètres pendant la première seconde de la chute; et comme la vitesse du corps ira toujours croissant, les espaces parcourus depuis l'origine du mouvement, représentés par la somme de toutes les vitesses, seront entre eux comme les carrés de ces mêmes vitesses. D'un autre côté, comme les vitesses qu'acquièrent des corps en s'approchant les uns des autres sont proportionnelles à la masse de ces corps, il suit que si le nombre ou la densité des molécules qui par leur ensemble constituent la masse de la terre devenait subitement, au moment où le corps commence à s'éloigner de son centre de gravité, un milliard de fois plus considérable qu'il ne l'est en effet, le corps ne pourrait plus parcourir que cinq mètres divisés par un milliard, soit un deux-cent-millième de millimètre, et le temps employé à ce mouvement serait comme la racine carrée du rapport des deux masses, soit un quatre-cent-quarante-septième de seconde. Il est bien évident que les diverses phases du mouvement ascensionnel du corps se présenteront, relativement à la période de sa chute, dans un ordre inverse et avec des signes contraires. Dans l'un et l'autre cas, les circonstances du mouvement seront exprimées par les équations qui établissent les rapports du temps, de la vitesse, et de l'espace parcouru; et les constantes seules, qui n'entrent dans les équations que pour exprimer la nature des unités que l'on emploie pour établir les véritables rapports des quantités entre elles, eu égard au cas particulier que l'on considère, seront sujettes à varier.

Supposons actuellement que pour faire perdre à un corps le mouvement dont il est pourvu, l'on remplace les effets de l'attraction par un obstacle quelconque, par exemple par un autre corps semblable à ce corps, le second, se trouvant sur le passage du premier, recevra de lui tout ou partie de son mouvement, qui constitue ce que l'on est convenu de désigner sous le nom de *choc*. Il est évident que si les corps ne se brisent pas pendant l'instant infiniment court qui suivra le moment précis où les corps auront commencé à se mettre en contact, ils se comprimeront réciproquement. Les molécules dont ils sont composés éprouveront alors des variations de distance qui feront changer leurs positions respectives; et comme cet effet exigera un certain déploiement de force, la partie de cette force qui sera employée à rapprocher entre

elles les molécules du corps choqué, sera fournie nécessairement par le corps choquant; ce corps perdra donc lui-même dans cet acte une partie du mouvement dont il sera pourvu, exactement comme il en arriverait si l'élasticité des corps restait la même, et que le corps en mouvement parcourût un petit espace en sens contraire de la gravité. Les mêmes effets se produiront dans les instants qui suivront, jusqu'à ce que le corps ait épuisé tout le mouvement que, d'après sa nature, il est susceptible de communiquer au corps choqué; les deux corps continueront alors de se mouvoir soit dans le même sens, soit dans des directions opposées, avec la quantité de mouvement dont était pourvu le corps choquant, diminuée de celle qui aura pu être employée à altérer ou briser quelques-unes des parties de l'un ou de l'autre des deux corps, ou à déterminer quelques parcelles de ces corps à se séparer d'eux et à s'en éloigner avec de plus ou de moins grandes vitesses, en produisant de la lumière, de la chaleur, de l'électricité, si les molécules détachées des masses auxquelles elles appartenaient se trouvent dans les conditions voulues pour produire ces effets. Comme la quantité de force qu'il est nécessaire de développer pour comprimer un corps solide est d'autant plus considérable que le volume de ce corps s'approche davantage de la limite au delà de laquelle il n'est plus possible de réduire l'espace qu'il occupe sans le désorganiser, la résistance qui représente ici la gravité ira toujours en croissant, suivant une loi qui sera fonction de la nature des corps pendant les instants qui suivront celui pendant lequel s'est opéré le premier contact; mais l'on sait que les lois de la chute des corps graves sont indépendantes de la variation de la pesanteur, et il suffit de considérer cette résistance comme constante pendant un temps infiniment court; dans l'intervalle de chacun de ces instants, le corps perdra son mouvement en parcourant les mêmes phases que si la gravité agissait sur lui d'une manière constante pour produire cet effet, c'est-à-dire que les espaces parcourus seront entre eux comme les carrés des temps et des vitesses, et si la loi d'accroissement de résistance, à mesure que les corps se compriment, est connue, la somme de toutes les actions représentées par l'intégrale dans laquelle sera entrée l'expression différentielle de cet accroissement, exprimera aussi l'espace total parcouru en fonction du temps et de la vitesse.

Une autre différence qui existe entre les effets du choc et ceux de la gravité, c'est que cette dernière agit en même temps et de la même manière sur toutes les molécules d'un corps individuellement, ce qui exclut toute possibilité de rupture ou de désorganisation du corps sur lequel s'exerce son action, tandis que dans le choc les molécules seules en contact et en regard les unes des autres en éprouvent les effets. Celles qui les suivent, arrêtées successivement dans leur marche par celles qui les précèdent et se trouvant animées de la même vitesse, exercent sur les molécules qui se trouvent placées immédiatement au-devant d'elles une action semblable qui se communique de proche en proche, et devient de plus en plus considérable à mesure que l'on s'éloigne davantage du point de contact ; il en résulte vers ce point une accumulation de force employée soit à briser, soit à désorganiser le corps, d'autant plus grande que les dimensions des corps, dans le sens où s'opère le choc, sont plus considérables. Mais encore ici l'on peut ramener par la pensée les effets du choc à ce qu'ils seraient si le corps choquant se trouvait divisé en nappes ou tranches formées par une seule épaisseur de molécules contiguës les unes aux autres, et que le corps choqué fût également formé par un même nombre de nappes correspondantes, de telle sorte que dans l'acte du choc chacune de ces nappes vînt s'appliquer contre celle qui lui correspondrait, et qu'il existât par conséquent autant de points de contact qu'il y aurait de nappes. Il est évident qu'alors les choses se passeraient exactement de la même manière que si la gravité agissait sur le corps choquant pour lui faire perdre sa vitesse et la quantité de mouvement dont il est pourvu. C'est donc la nature des corps et la plus ou moins grande difficulté qu'ils éprouveront à diminuer leur volume lorsque déjà ils auront été comprimés par des pressions antérieures, et non le mode suivant lequel aura lieu la communication du mouvement, qui déterminera la quantité de force employée soit à briser, soit à désorganiser les corps : la partie de ce mouvement employée, pendant le choc, à produire l'effet physique, qui a pour résultat de détruire l'organisation des corps, est dépendante de la nature des corps, de leur plus ou moins grande élasticité ; et bien que cette élasticité soit assujettie à suivre les lois qui président à la communication du mouvement, il n'est guère possible de prévoir à priori quelle sera la quantité de la partie de la force

développée dans le choc qui sera employée à produire ces effets, et de quelle nature en seront les résultats, et cela à cause de la diversité d'aspects sous lesquels cette force se manifeste, de la multitude d'effets connus et inconnus qu'elle produit, des diverses formes qu'elle affecte, et de la variété des phénomènes qui en sont la conséquence. La partie de la force qui, pendant le choc, se communique du corps choquant au corps choqué, pour déplacer les corps, suit aussi les lois qui servent à déterminer les circonstances de la chute des corps graves; et les effets qui sont produits alors doivent être évidemment mesurés, ainsi que je l'ai fait voir, par le produit de leur masse par le carré de leur vitesse. L'on voit donc que lorsque des corps font échange, pendant le choc, de tout ou partie du mouvement dont ils étaient pourvus, la grande et unique loi qui règle le mode suivant lequel les corps se mettent en mouvement quand ils obéissent à leurs attractions réciproques, est toujours observée d'une manière invariable, quelles que soient du reste les variétés de formes sous lesquelles se présentent les effets du choc.

La quantité de force ou de mouvement, qui affectait les corps avant le choc, existe intégralement après qu'il s'est opéré, soit d'une manière visible par les mouvements apparents qui se produisent et en sont la conséquence directe, soit d'une manière invisible par des phénomènes qui se manifestent également à nos sens, mais sous d'autres formes moins faciles à apprécier, et avec des degrés d'intensité plus difficiles à mesurer. Mais toutes ces différences, qui ne permettent pas de constater d'une manière simple et facile la parfaite identité et l'origine commune des phénomènes, s'effacent bien vite lorsque l'on vient à examiner quelle en est la source; en effet, l'on ne tarde pas à s'apercevoir que les différences remarquées tiennent à des circonstances étrangères aux phénomènes en eux-mêmes, et que tout ce qui dans la création présente les caractères du mouvement et de la vie vient se ranger sous la grande et universelle loi de l'attraction universelle.

En suivant une marche que jusqu'ici rien ne me donne lieu de croire fautive, j'arrive cependant à une conclusion qui me semble se trouver en complète contradiction avec le mode sous lequel les auteurs qui ont écrit sur la mécanique rationnelle ont envisagé les effets physiques du choc; non que cette théorie, telle que je la présente et en fais les ap-

plications, ne découle pas des premiers principes que ces auteurs établissent comme bases fondamentales des doctrines qu'ils publient dans leurs ouvrages, mais bien parce que, accoutumés à partir de principes trop abstraits et trop bien établis, selon eux, pour leur laisser croire qu'un plus ample examen pût leur donner aucun appui, ils se sont trouvés amenés, comme à leur insu, à représenter les phénomènes par des expressions différentielles dont ils supposaient que l'énoncé n'avait besoin que d'être intégré pour entrer dans le domaine des réalités et devenir la véritable expression des faits.

Lorsque l'on considère de quelle obscurité était environnée la science de la mécanique au temps où écrivaient les auteurs qui en ont posé les premiers principes, l'on cesse d'être étonné de voir des esprits comme les leurs, accoutumés à la précision des abstractions analytiques, éprouver de la répugnance à porter leurs méditations sur des questions qui leur semblaient présenter tant de vague et d'incertitude, et qu'ils se soient laissés aller à appliquer à la solution des questions de la mécanique usuelle des énoncés généraux dont le sens avait besoin d'être complété pour exprimer comment se passaient réellement les choses en dynamique, quand les corps venaient à échanger ou à se communiquer tout ou partie du mouvement dont ils étaient pourvus. On se doutait alors si peu de l'intérêt qui devait être un jour attaché à l'étude d'une science dont jusque-là le besoin s'était à peine fait sentir, et dont on pouvait à peine soupçonner l'existence, on était si loin de prévoir les immenses applications qui en ont été faites de nos jours, que c'est à peine si l'on entrevoyait comme sous un voile obscur le grand principe de la conservation indéfinie du mouvement qui devient aujourd'hui la base de toute la mécanique, puisque l'on discutait alors sérieusement la possibilité du mouvement perpétuel.

Nous voyons en effet que lorsqu'il est question de définir les effets du choc, Poisson, dans le VI^e^ paragraphe de l'article 401 de son *Traité de Mécanique,* admet comme un axiome qui n'a pas besoin d'être démontré, que : « Le choc d'un corps en mouvement contre un corps en repos est » une force qui agit instantanément sur ce second corps, ou du moins » le temps pendant lequel elle exerce son action est en général si petit, » qu'on en peut faire abstraction sans erreur sensible ; l'intensité de

» cette force devra donc être représentée dans le calcul par le produit » de la masse du corps choqué multipliée par la vitesse que le choc » imprime à son centre de gravité », et cette assertion est bien d'accord avec le IV^e^ paragraphe du n° 311 où il établit que : « Si deux sé- » ries de sphères juxtaposées, égales en volumes et de même matière, » viennent à se rencontrer, elles se feront équilibre lorsque dans chaque « série la vitesse sera en raison inverse du nombre des sphères. »

Au I^er^ paragraphe du n° 422, Poisson dit encore : « La notion que » nous avons de la masse des corps suppose que les masses de deux » mobiles sont en raison inverse des vitesses avec lesquelles elles se font » équilibre dans le choc! » Comme toutes ces assertions sont posées en préceptes dépourvus de raisonnements à l'appui et de preuves, il faut bien les prendre sur parole et chercher de quelle manière il est possible de les faire accorder avec l'observation des faits. On peut croire que les auteurs qui ont présenté ces questions sous ce point de vue avaient l'esprit préoccupé de l'idée vraie, que la gravité imprime aux mobiles qui sont soumis à son action des vitesses proportionnelles à son intensité, ainsi que l'exprime Poisson au II^e^ paragraphe du n° 193 de sa *Mécanique;* et après avoir admis que l'on pouvait négliger, en le considérant comme infiniment petit, le temps pendant lequel un corps transmet dans le choc tout ou partie de son mouvement, cet auteur a pu et même dû assimiler les effets et les résultats du choc à ceux que la gravité détermine dans un corps pendant un temps infiniment court. Ce serait donc par suite d'une confusion entre l'emploi de l'équation différentielle exprimant les rapports qui existent entre le temps et la vitesse dont Poisson aurait fait une application directe aux phénomènes du choc, et l'intégrale de cette équation qui représente, lors même que la durée du phénomène serait aussi petite que l'on pourrait l'imaginer, la somme de toutes les vitesses, soit l'espace parcouru par le mobile, et exprime ainsi les relations qui existent entre le temps, la vitesse et l'espace parcouru ; ce serait par suite de cette confusion, que les auteurs auraient été amenés à présenter comme axiomes des assertions évidemment en contradiction avec les faits.

Pour bien mettre en évidence le mode sous lequel je comprends que l'on doit envisager la question de la communication du mouvement, je

vais essayer de faire l'application de quelques-uns des principes qu'établit Poisson pour calculer les effets du choc, comparer les résultats auxquels il arrive avec la manière dont les choses se passent en réalité, lorsque les corps viennent à faire échange de tout ou partie du mouvement dont ils sont pourvus, et voir si en employant le grand principe de la conservation indéfinie du mouvement pour résoudre ces questions, on ne parviendra pas à obtenir des résultats qui soient en rapport avec ce que l'expérience indique. Qu'il soit donc question de déterminer de quelle manière et en quelles proportions un corps cédera à d'autres corps, auxquels il se trouve lié de manière à conserver toujours avec eux les mêmes rapports de vitesse, le mouvement qu'il a acquis en tombant d'une hauteur déterminée, et suivant quelles lois ces corps communiqueront à d'autres corps pendant le choc tout ou partie du mouvement dont ils seront pourvus.

Supposons qu'au point C (*fig.* 6) d'un axe fixe tournant autour de deux tourillons AB, on fixe une verge inflexible mm' ; qu'au point m', à une distance Cm' égale à l'unité, on place deux corps mous, sphériques, et concentriques dans les conditions que désigne Poisson dans le n° 311 de sa *Mécanique*, que la masse de chacun de ces corps est aussi égale à l'unité, et qu'en m, à la distance Cm égale à deux fois la distance Cm', on place également un corps de même nature et de même masse. Si l'on enroule ensuite autour de l'axe AB un fil inextensible passant sur la poulie O, qu'au bout de ce fil on place un corps P dont le poids soit égal à celui de la somme des deux corps m, m' et qu'on abandonne le corps P à l'action de la gravité, il arrivera :

1°. Que le corps P qui, s'il eût obéi librement à la gravité, aurait parcouru un espace très-approché de 5 mètres dans une seconde, et aurait acquis une vitesse de 10 mètres à la fin de ce temps, fera participer à son mouvement les corps m, m' auxquels il est lié en les entraînant avec lui.

2°. Que la quantité de mouvement, communiquée aux corps m, m' par P, sera représentée par celle que P aurait acquise en tombant librement de 5 mètres de hauteur, moins celle qui sera représentée par la vitesse qui lui restera lorsqu'il sera arrivé au bas de sa course après avoir parcouru les 5 mètres.

3°. Que les quantités de mouvement acquises par m, m' aux dépens

de P seront entre elles comme le produit de leurs masses par le carré de leurs vitesses. Et en observant que les relations entre les vitesses et les espaces parcourus sont exprimées de la manière la plus simple possible et suffisamment exacte pour être employée, sans erreur sensible, dans la pratique par les équations

$$V^2 = 20\,E, \quad V = \sqrt{20\,E}, \quad E = \frac{V^2}{20},$$

où V désigne la vitesse et E l'espace parcouru, on pourra, au moyen d'une équation, exprimer les rapports qui existent entre la quantité de mouvement cédée par le corps P aux corps m, m', et celle qui lui reste lorsqu'il est parvenu à l'extrémité de sa course, et exprimer aussi comment se répartit entre m et m' le mouvement qui leur a été cédé par P, et la vitesse des diverses parties du système lorsque P sera parvenu au bas de sa course.

De ce que les corps P, m, m', se trouvent liés entre eux d'une manière invariable, leurs vitesses seront entre elles comme les longueurs des bras de levier à l'extrémité desquels ils sont fixés; et comme ces vitesses sont représentées respectivement, pour le corps P, par $Cx = \frac{1}{5}$, pour m par $Cy = 1$, pour m' par $Cz = 2$, on exprimera au moyen de ces données, et en regardant la vitesse V comme inconnue, les rapports qui existent entre les diverses parties du système, et l'on aura ainsi l'équation

$$3m \times \frac{(10)^2}{20} - 3m\,\frac{\left(\frac{V}{5}\right)}{20} = m\,\frac{(2V)^2}{20} + 2m\,\frac{V^2}{20},$$

d'où l'on tire

$$V = 7{,}001, \quad V^2 = 49{,}02.$$

En mettant les valeurs numériques à la place des lettres qui les représentent, dans les quatre termes ci-dessus, on trouve que le premier, $3 \times \frac{10^2}{20} = 15$, exprime la quantité de mouvement dont aurait été pourvu le corps P s'il était tombé librement de 5 mètres de hauteur; le second, $3 \times \frac{\left(\frac{7{,}001}{5}\right)^2}{20} = 0{,}294$, indique la quantité de mouvement qui restera au

corps P après qu'il sera arrivé à l'extrémité de sa course; le troisième, $1 \times \frac{(14,002)^2}{20} = 9,804$, représente la quantité de mouvement du corps m, et le quatrième, $2 \times \frac{(7,001)^2}{20} = 4,902$, celle du corps m', et l'on voit, en effet, qu'en réunissant ces diverses quantités

$$9,804 + 4,902 + 0,294 = 15,$$

on retrouve la quantité de mouvement qu'aurait acquise le corps P s'il fût tombé librement pendant une seconde et qu'il eût parcouru un espace de 5 mètres. On voit aussi que la quantité de mouvement du corps m sera double de celle du corps m'. Ces deux corps qui se trouvaient en équilibre autour du centre de gravité C, lorsqu'ils étaient en repos, ne s'y trouveront plus lorsqu'ils seront en mouvement; il doit donc exister un autre centre de gravité C′ qui satisfera, dans ce dernier cas, à la condition d'équilibre.

L'on déterminera la position de ce nouveau centre C′ ou la distance C, C′ à laquelle il se trouve de l'ancien, en observant que puisque les vitesses des corps m, m' sont proportionnelles à leurs distances au centre de gravité, et les quantités de mouvement représentées par les masses multipliées par les carrés des vitesses, il faut, pour que ce nouveau centre puisse satisfaire à la condition d'équilibre, que l'on ait, en nommant D la distance qui sépare m de m' et X celle de m au centre de gravité

$$m\,X^2 = m'(D - X)^2,$$

d'où l'on tire

$$X = m\,C' = 1,76, \quad m'\,C' = 3 - 1,76 = 1,24:$$

la distance de ce nouveau centre à l'ancien sera par conséquent de 0,24, et, lorsque les corps se mettront en mouvement, ce centre C′ de gravité décrira autour de c des arcs de cercle qui détermineront un mouvement centrifuge du côté des poids les plus faibles. Il résultera de la part de l'ensemble du système une action sur l'axe AB laquelle tendra à déplacer cet axe de sa position, et à exercer un frottement sur ses tourillons dans le sens de Cm qui croîtra et décroîtra proportionnellement

à la masse des corps m, m' multipliée par le sinus verse des arcs parcourus par ces corps dans des temps égaux.

C'est bien de cette manière que l'on calcule, dans la pratique, la perte que l'on éprouve, par suite de la vitesse avec laquelle on rejette l'eau après s'en être servi dans les moteurs hydrauliques, en comparant cette vitesse à celle que prendrait l'eau si elle obéissait librement à la gravité en tombant de toute la hauteur de la chute, et c'est aussi de cette manière que l'on détermine la quantité de mouvement que l'on doit accumuler dans un volant pour régulariser la marche d'une machine, et enfin que l'on est amené à reconnaître la nécessité de placer toutes les parties du volant à la même distance du centre de gravité du système entier, pour éviter les soubresauts et les décompositions de force sur l'axe, effets qui désorganiseraient la machine et en entraîneraient promptement la destruction. Jusqu'ici, nous nous trouvons parfaitement d'accord avec la manière dont Poisson envisage toutes ces questions dans le n° 425 de sa *Mécanique;* mais si l'on suppose actuellement que les corps m, m' qui se trouvent dans les conditions exprimées au premier paragraphe de l'article 311 de la *Mécanique* de Poisson, et dont *les vitesses sont en raison inverse de leur nombre* viennent à se rencontrer, il me paraît de toute impossibilité que, dans aucun cas, quelle que pût être d'ailleurs la nature de ces corps et les circonstances qui accompagneraient cet acte, que la force ou le mouvement dont sont pourvus ces corps puisse être détruit et que les corps fussent réduits au repos, comme l'indique Poisson au deuxième paragraphe de ce même article où il dit que « si deux sphères égales en volume et de même vitesse, formées de » différentes matières compressibles, mais dépourvues d'élasticité, vien» nent à se rencontrer, il est évident qu'elles se comprimeront l'une » contre l'autre jusqu'à ce que leurs mouvements soient détruits et » qu'elles soient réduites au repos! »

L'idée de la possibilité de l'anéantissement de la force, de la disparition complète du mouvement a toujours éprouvé une insurmontable difficulté à être admise par les esprits droits et réfléchis qui ont fait de cette question l'objet de leurs méditations : Newton, dans le douzième paragraphe du corollaire premier de la troisième loi du mouvement des *Principes de la philosophie naturelle,* fait remarquer que dans la théorie

de Wren et d'Huyghens, les corps absolument durs, tout comme les corps parfaitement élastiques, après s'être choqués s'éloignent l'un de l'autre avec la même vitesse qu'ils avaient dans le choc, attribuant, lui-même, la diminution de vitesse qui se manifeste dans certains cas à l'altération qu'éprouvent les corps dans la collision qui est l'effet du choc. Descartes, avant lui, déclarait que « la même quantité de force » doit toujours exister dans l'univers, par la simple raison que de tout » ce qui existe rien ne se perd. » Maclaurin exprimait la même pensée en disant : « Nous ne connaissons dans un corps d'autre manière de per- » dre sa force qu'en la communiquant à un autre. »

Montgolfier, enfin, dans une Note sur le bélier hydraulique, et la manière d'en calculer les effets, insérée en 1803, au n° 73 du *Journal des Mines*, dit formellement que « la force dont est pourvu un corps ne » peut dans aucun cas être annihilée ! »

En présence de pareilles autorités, on reste frappé d'étonnement de voir que les auteurs modernes, éclairés par la multitude des faits qui ont surgi de toutes parts de nos jours et ont pu être appréciés par les esprits les moins cultivés, ne se soient pas empressés de donner eux-mêmes l'exemple d'une réforme qu'il appartient à eux seuls d'opérer.

Les principes consacrés par les Traités de Mécanique rationnelle telle qu'elle est actuellement enseignée, et l'application des formules qui en sont la conséquence, conduisent trop évidemment à des résultats qui sont la plupart du temps en contradiction avec ce qu'indiquent l'expérience et la pratique, pour que l'on puisse considérer aujourd'hui cette étude autrement que comme d'ingénieuses fictions basées sur des hypothèses qu'à défaut d'observations déduites des faits, on avait adoptées uniquement parce qu'elles se prêtaient avec facilité et élégance à l'expression analytique de faits que l'on considérait en eux-mêmes comme sans importance et sans portée, tant on attachait peu de prix à une science où tout alors était à créer.

Les progrès de la civilisation se trouvent aujourd'hui intimement liés au perfectionnement de l'art des machines; il devient donc de la plus haute importance que la science de la mécanique, qui constitue cet art lui-même, puisse servir de guide à ceux qui sont appelés à faire avancer les peuples dans la voie du progrès. Et cependant lorsque l'on veut faire

usage des ouvrages destinés à enseigner cette science, avec l'espérance d'y trouver des principes faciles à saisir et applicables à la résolution des questions usuelles que réclame journellement la pratique, principes qu'il serait si aisé d'établir assez clairement pour être mis à la portée de ceux qui n'ont pas dirigé leurs études de manière à faire de la science l'occupation exclusive de toute leur vie, on se trouve tout d'abord rebuté par un échafaudage de formules inintelligibles pour ceux à qui il semble qu'elles ont surtout dû être destinées, et qui conduisent la plupart du temps et de l'aveu même de leurs auteurs à des résultats spéculatifs complétement en dehors du domaine de la réalité. Et comment pourrait-il en être autrement lorsque les principes sur lesquels se fondent les démonstrations, principes que l'on prend pour point de départ comme l'expression de la vérité, ne sont eux-mêmes que des conventions et des hypothèses gratuites, basées sur l'admission de la possibilité de la destruction du mouvement ou annihilation de la force, erreur reconnue aujourd'hui presque sans aucune exception par tous les savants du monde connu, équivalente et synonyme de celle qui admettrait la possibilité de la création de la force, soit le mouvement perpétuel; or l'on sait que cette théorie est frappée d'une telle proscription, d'une telle réprobation scientifique, qu'il n'est plus même permis de l'énoncer au sein d'aucune société savante!

Mais indépendamment de la possibilité de l'anéantissement de la force admise par Poisson d'une manière générale lorsque les corps viennent à se choquer, il existe encore dans le mode sous lequel cet auteur envisage les effets du choc, une erreur non moins grave sur la manière dont il établit et apprécie quelles sont les quantités de mouvement qui se détruisent et disparaissent pendant le choc. Nous voyons en effet qu'au II^{e} paragraphe de l'article 311 déjà cité, il est dit que « si deux sphè-» res dépourvues d'élasticité dont la vitesse de l'une est plus grande que » celle de l'autre, viennent à se rencontrer, la plus petite vitesse sera » seule détruite et la plus grande sera diminuée d'une quantité égale à la » plus petite; » et ailleurs dans le IV^{e} paragraphe du même article 311 où il établit que, « dans leur rencontre, deux séries de sphères se feront équi-» libre lorsque leurs vitesses seront en raison inverse de leur nombre. »

Il est cependant bien évident que si à un moment donné les corps

m, m' venaient à se détacher de la verge à laquelle ils sont fixés, la véritable quantité de mouvement dont serait pourvu chacun d'eux serait mesurée par la hauteur à laquelle ils pourraient s'élever en vertu de leurs vitesses respectives. Or comme cette hauteur est proportionnelle aux carrés de ces vitesses, la quantité de mouvement du corps m sera exprimée par $1 \times (2)^2 = 4$, et celle du corps m' par $2 \times (1)^2 = 2$. Lors donc qu'il y aurait possibilité à ce que les quantités de mouvement pussent réciproquement se détruire en les supposant égales, cette dernière condition ne pourrait exister tant que l'on voudrait compenser l'inégalité des masses par celles de la première puissance des vitesses.

Il faut bien convenir qu'il est difficile, quelle que soit l'autorité des auteurs qui posent ces principes comme bases fondamentales de la science, de se soumettre à des décisions qui sont démenties d'une manière si évidente par l'expérience et l'observation des faits.

Le mode suivant lequel le mouvement est transmis d'un corps à un autre ne peut exercer qu'une influence bien secondaire sur l'acte capital de la communication du mouvement, et il n'est pas possible que ce que l'on ne peut considérer que comme un incident dans l'exercice d'une propriété générale inhérente à la matière puisse exercer une telle influence sur la nature de cet acte, que dans certains cas la quantité de mouvement transmis par le corps choquant au corps choqué soit proportionnelle au carré des vitesses, et dans d'autres seulement comme les premières puissances de ces mêmes vitesses. Les auteurs établissent arbitrairement en principe que le temps pendant lequel a lieu le choc est si petit qu'on peut en faire abstraction, et que, par conséquent, l'intensité de cette force doit être représentée par le produit de la masse par la vitesse. Mais rien ne peut donner lieu de croire que la brièveté du temps pendant lequel a lieu la communication du mouvement est un obstacle à ce que le mode suivant lequel s'opère cette communication soit assujetti à des lois identiques à celles qui régissent des actions analogues dont l'accomplissement exige des espaces de temps aussi longs qu'il est possible de les imaginer. De telles exceptions aux lois générales ne se présentent jamais dans la création. La providence de Dieu ne recule pas devant la complication des problèmes, la difficulté des intégrations, la brièveté ou l'immensité du temps nécessaire à l'accom-

plissement des immuables lois qu'elle a tracées, et l'on ne peut pas dire qu'un phénomène, dont l'accomplissement se trouve subordonné à une loi qui exige le déploiement d'actions et de réactions le plus grand que l'on puisse imaginer, ne pourra pas s'opérer dans un espace de temps dont on oserait élever la prétention de déterminer les limites. J'ai fait voir en effet qu'un corps qui aurait acquis une certaine quantité de mouvement en tombant de 5 mètres de hauteur, perdrait ce mouvement en s'éloignant d'un centre d'attraction un milliard de fois plus considérable que celui de la Terre, et parcourant un espace de $\frac{1}{200000}$ de millimètre dans $\frac{1}{447}$ de seconde. Comme la nature du phénomène est indépendante de l'échelle sur laquelle ce phénomène a lieu, on peut tout aussi bien supposer au corps attirant une masse qui soit mille milliards de fois plus considérable que celle de la Terre. Le corps perdrait alors dans ce système d'attraction le mouvement dont il est pourvu en parcourant $\frac{1}{200000000}$ de millimètre dans $\frac{1}{22360}$ de seconde; et l'on ne peut nier que dans ce cas la loi de la gravitation qui détermine les diverses phases de la chute des corps, et démontre que les espaces parcourus sont entre eux comme les carrés des temps et des vitesses, ne fût aussi exactement observée que lorsqu'un corps tombe ou s'élève en s'approchant ou s'éloignant du centre de la Terre. Mais s'il en est ainsi, et qui pourrait en douter? comment serait-il possible qu'il vint à la pensée de quelqu'un dont l'esprit fût un peu exercé à faire de ces matières l'objet de ses réflexions, que la brièveté du temps pendant lequel on veut bien supposer qu'a lieu la communication du mouvement durant le choc, est un obstacle insurmontable, une impossibilité à ce que cette communication ait lieu suivant les mêmes lois, de la même manière et en parcourant les mêmes phases que lorsque les corps obéissent librement à la loi de l'attraction universelle? N'est-il pas avéré que tous les corps sont élastiques du plus au moins? et alors comment peut-il se faire que ces auteurs se décident à les dépouiller gratuitement d'une propriété qui, de leur aveu même, se trouve intimement liée à la notion de leur existence, et à créer entre eux un nouveau mode d'être et d'agir qui conduit à l'admission de propriétés que l'on ne peut ni comprendre, ni définir, ni calculer, en attribuant ainsi à la matière des qualités idéales et fictives qui servent ensuite de bases pour établir

des formules qui conduisent à des résultats en complète contradiction avec ce que l'expérience indique. Quelque faibles que soient l'élasticité que l'on attribue à un corps, la petitesse de l'espace qui mesure l'étendue dans la limite de laquelle on suppose qu'il est susceptible de se comprimer pendant le choc, et la brièveté du temps nécessaire à l'accomplissement de ce phénomène, il est de toute évidence que l'espace parcouru et le temps se trouveront toujours bien supérieurs aux nombres qui expriment les résultats auxquels je suis parvenu en considérant l'action de la gravité comme une cause qui doit produire des effets identiques à ceux du choc, et évidemment ce temps et cet espace peuvent être réduits indéfiniment, puisque les suppositions que j'ai faites n'admettent pas de limites, et que la loi qui préside à ces phénomènes est indépendante de la valeur numérique que l'on donne aux quantités qui les expriment.

Aucun corps dans la nature n'étant ni parfaitement élastique, ni complétement dépourvu d'élasticité, il s'en suit que la quantité de force qui, pendant le choc, est employée soit à procurer aux corps des mouvements de rotation sur eux-mêmes, soit à altérer leur état physique, en déterminant leur rupture ou le développement d'une certaine quantité de chaleur ou d'électricité, varie avec la nature des corps. Cette quantité de force varie aussi suivant les diverses circonstances qui accompagnent le choc, telles que l'angle sous lequel a lieu la rencontre des corps choquants et choqués, les vitesses dont ils sont animés et leurs directions. Quant à la partie de force qui se transmet entre les corps, et qui a pour résultat de faire un échange des vitesses dont ils sont animés, il est évident qu'elle doit se conserver intégralement dans leurs rencontres et leurs chocs, sans qu'aucune circonstance puisse faire varier en rien cette quantité de mouvement, laquelle se perpétue indéfiniment entre les corps sans aucune espèce d'altération.

Encore ici, cependant, Poisson, comme conséquence de l'extension qu'il donne au principe de la décomposition des forces au n° 20 de sa *Mécanique,* où il établit les rapports statiques de diverses forces qui se font réciproquement équilibre, admet au n° 345 que ces forces peuvent se faire équilibre, lorsque les sommes ou résultantes de leurs actions dans des directions opposées sont égales, et il veut que pour déterminer

ces résultantes l'on fasse entrer, dans l'expression de leur intensité, le cosinus de l'angle sous lequel a lieu le choc. Evidemment les conditions du choc influent sur la proportion de force qui a pour résultat de désorganiser les corps, comparativement à celle qui, dans cet acte, est transmise d'un corps à un autre, et s'il était possible de déterminer d'un côté, dans des conditions données et en fonction de la nature des corps, la proportion de force employée à faire vibrer le corps, à procurer à ces diverses parties des mouvements de rotation sur lui-même, à le briser, à en dégager de la chaleur, de la lumière, de l'électricité, etc., et de déterminer aussi d'un autre côté la partie de cette même force qui se transmet entre les corps dans leurs rencontres ou leurs chocs, on pourrait établir des relations représentées par des équations qui permettraient de déterminer de quelle manière la direction des corps choquants, l'angle sous lequel a lieu le choc, etc., influent pour faire varier la proportion de force affectée à produire l'un ou l'autre des effets ci-dessus. Mais cette appréciation qui se rapporte à la nature même des corps dont nous n'avons aucune idée, et qui exigerait que l'on fît entrer comme constantes dans les équations, leurs propriétés et leur constitution, a toujours été considérée jusqu'ici comme au-dessus des ressources que présente la science de la mécanique; et l'erreur qui s'est introduite dans le mode d'apprécier les effets du choc consiste en ce que, au lieu d'appliquer les calculs à ces phénomènes qui par leur nature échappent aux moyens que nous possédons pour en apprécier l'étendue et l'intensité, l'on a fait usage des formules pour déterminer les conditions qui accompagnent l'acte même du choc, en tant qu'il a pour résultat la transmission du mouvement d'un corps à un autre, acte qui par sa nature en est entièrement indépendant.

Voici en effet de quelle manière s'exprime à cet égard l'illustre Faraday:

« Si le principe de la conservation de la force est vrai, et il n'est » presque plus personne qui le conteste aujourd'hui, on ne doit ad- » mettre aucune hypothèse, aucune affirmation d'un fait même accré- » dité qui en seraient la négation. Toute manière de voir en désaccord » ou incompatible avec ce principe doit être rejetée; certaines hypo- » thèses, sans être fausses, peuvent dans l'état actuel de la science ne

» ne pas pouvoir se concilier avec lui, ou du moins on peut ne pas » apercevoir le lien de la conciliation; mais si elles lui sont opposées, » ou si elles le contredisent, elles sont par là même condamnées. La » vérité de ce principe une fois admise, c'est un droit, c'est un devoir » que d'en poursuivre impitoyablement les conséquences, dussent-elles » nous conduire à renverser de fond en comble les doctrines les plus » généralement vénérées et aimées, consacrées à la fois par le génie et » la tradition de plusieurs siècles de gloire.

Mon oncle Montgolfier formulait ces mêmes principes vers l'année 1800 d'une manière tout aussi absolue, et tellement propre à heurter tout ce qui dans la mécanique était considéré comme devant être la base des principes de cette science, et comme tel devenir l'objet du respect de ceux qui en faisaient le sujet de leurs occupations, que j'ai souvent entendu des savants qui avaient appartenu à son époque s'en servir contre lui comme d'une arme pour justifier l'espèce de mépris dont ils se croyaient en droit de flétrir des opinions si fort en contradiction avec le point de vue sous lequel ils envisageaient eux-mêmes ces questions.

Voici l'énoncé de ce principe :

« Si sur une roue en mouvement on jette des corps ayant une vitesse » plus grande que celle dont elle est animée, et qui y restent attachés » en faisant corps avec elle, la vitesse de cette roue sera augmentée de » toute la quantité de mouvement représentée par la différence de vi- » tesse qui existe entre celle de la roue et celle des corps qui sont venus » augmenter sa masse, et cela indépendamment de la direction et de » l'angle sous lequel a eu lieu la rencontre ou le choc au moment où » les corps en mouvement sont venus se réunir à elle. »

Il était impossible, on le voit, d'exprimer d'une manière plus nette et plus tranchée, mais en même temps moins susceptible d'être appréciée alors, la conséquence du principe de la conservation indéfinie du mouvement, formulé soixante ans plus tard d'une manière non moins explicite par M. Faraday; mais une admirable rectitude d'esprit innée chez Montgolfier l'amenait toujours instinctivement à démêler la vérité de l'erreur, quel que pût être d'ailleurs le prestige dont elle fût environnée et l'autorité de la source d'où elle tirait son origine; et il ne

dépendait pas de lui d'assimiler à ses facultés intellectuelles rien qui ne fût conforme à la droite et saine raison.

Or voici de quelle manière j'ai cherché à m'expliquer le sens de cet énoncé, qui, quoique formulé d'une manière si abrupte, rentre cependant implicitement dans celui exprimé par M. Faraday.

Supposons d'abord qu'il s'agisse d'une roue tournant dans un plan horizontal, à fond plat, à bord élevé à angle droit, comme un cuvier à lessive, et que la roue soit fixée à un axe ou arbre vertical. Dans l'intérieur de cette roue on place deux bandes en caoutchouc ou autre substance analogue très-élastique, larges et minces; on les fixe d'un côté à la circonférence de la roue et de l'autre à son axe, de manière à présenter des surfaces verticales et à diviser son intérieur en deux compartiments égaux.

Après avoir disposé les choses ainsi, si l'on établit au fond de la roue une couche de terre, de sable ou autre substance analogue molle et non élastique, que l'on mette la roue en mouvement et que l'on jette sur la partie couverte de sable et dans le sens de son mouvement avec une vitesse plus grande que celle dont elle est animée, des corps de n'importe quelle nature, il est évident que la vitesse de la roue sera augmentée de toute la quantité de mouvement représentant l'excès de vitesse du corps projeté dans la roue, qui n'aura pas été employé à produire, dans l'acte même du choc, une altération soit à la roue, soit au corps lui-même. Mais si, en même temps que l'on jette ces corps dans le sens du mouvement de la roue, on en jette d'autres semblables avec les mêmes vitesses en sens opposé à celui de son mouvement, mais au milieu des bandes élastiques qui sont disposées dans son intérieur, ces corps seront évidemment réfléchis dans le sens du mouvement de la roue et viendront rencontrer les substances déposées sur son fond, en lui communiquant par leur intermédiaire l'excès de vitesse dont ils sont animés, et ils contribueront ainsi à augmenter la sienne propre avec une intensité égale à celle des autres corps qui agissent pour produire le même effet d'une manière directe dans le sens de son mouvement; en déduisant toutefois de la force dont étaient pourvus ces corps, la quantité de mouvement qui aura été employée à tendre et à détendre le ressort des bandes élastiques, et celle aussi absorbée par les effets de rup-

ture ou de dégagement de chaleur dans le choc des corps pendant leur rencontre avec la roue.

Si l'on enlève actuellement les bandes élastiques placées dans l'intérieur de la roue, et qu'on y jette des corps de n'importe quelle nature et dans quelque direction que ce soit avec des vitesses supérieures à celle dont elle est animée, les mêmes effets se produiront, mais en variant d'intensité, suivant les circonstances particulières qui accompagneront le choc de ces corps. Il pourra arriver que non-seulement la force dont sont pourvus les corps projetés, mais encore celle de la roue elle-même, soient employées en entier à briser, désorganiser soit les corps, soit la roue, et que le système arrive au repos ou se mette en mouvement dans un sens contraire à sa première direction. Mais si, par suite de circonstances favorables à la conservation de la force, la partie de cette force employée à altérer les corps choquants et choqués est peu considérable, l'excédant produira tout ou partie des effets que j'ai décrits, lorsque les choses étaient disposées de manière à conserver au mouvement de la roue la plus grande quantité de force possible.

De ces deux effets, le premier seul éprouvera des variations qui seront fonction de la nature des corps et du cosinus de l'angle que formera leur direction au moment de leur rencontre avec la roue; mais la partie du mouvement qui ne sera pas employée à modifier la constitution physique des corps à les briser, à projeter leurs diverses parties en éclats, à les désagréger, à déterminer les molécules qui les composent à s'en séparer, soit à l'état de chaleur, de lumière, d'électricité, etc., sera employée en entier à perpétuer le mouvement de rotation de la roue et des corps qui en font partie, sans aucune perte ni modification de force, quelles que soient d'ailleurs la nature et la direction du mouvement de ces corps.

Des raisonnements analogues amèneront aux mêmes conclusions si, au lieu de considérer une roue tournant horizontalement, on suppose que le mouvement est vertical et qu'elle est alimentée par de l'eau qui y arrive dans une direction et avec une vitesse quelconques. Qu'il soit question, en effet, d'une roue tournant verticalement au moyen d'augets placés à sa circonférence, dans lesquels l'eau s'introduit sans vitesse; et que chacun de ces augets ait deux fonds formés par des cloisons occupant toute sa largeur, et dirigés dans le sens de la longueur des rayons de la roue.

Au milieu de chaque auget se trouve une ouverture de toute la largeur de la roue pour y laisser entrer l'eau, et vers le fond des augets et de chaque côté deux cloisons ayant chacune le tiers de l'espace qu'occupe l'auget sur la circonférence de la roue et servant à l'y retenir, de telle manière que l'eau arrivant dans les augets y est retenue de quelque côté que tourne la roue, jusqu'à ce que l'auget qui la contient arrive par l'effet de son mouvement à la partie la plus basse de la verticale qui passe par son centre.

Les choses ainsi disposées, supposons que l'on fasse arriver de chaque côté de la roue, et au-dessus de son axe, de l'eau sans vitesse dans les augets : la plus légère différence de charge déterminera la roue à se mettre en mouvement soit à gauche, soit à droite, et comme l'eau continuera d'arriver, celle qui alimente les augets dans le sens du mouvement de la roue, agira de tout son poids pour la faire tourner jusqu'à ce que les augets soient parvenus à la partie inférieure de la roue, tandis que l'eau qui alimente le côté opposé sera soulevée jusqu'à la partie supérieure de la roue et atteindra ensuite la partie inférieure, en parcourant un espace égal au diamètre entier de la roue; mais comme la partie de la roue depuis son extrémité supérieure, jusqu'au point où elle reçoit l'eau, sera chargée de chaque côté d'une couche d'eau régulière qui se fera équilibre, il s'ensuit que l'eau jetée sur la roue, en sens contraire de son mouvement, produira sur elle le même effet que celle qui y arrive dans le sens de sa direction, puisque la roue reçoit l'eau des deux côtés à la même hauteur.

Si actuellement on fait arriver l'eau dans les augets avec de plus ou moins grandes vitesses, la quantité de mouvement de la roue augmentera et les forces qui seront le résultat de l'excédant de la vitesse de l'eau ne se feront pas évidemment équilibre et ne se détruiront pas réciproquement, bien qu'agissant dans des directions opposées.

Nous savons très-bien, en effet, que lorsque de l'eau vient frapper contre un corps résistant normalement à sa direction, sa vitesse n'est point détruite ni sa force anéantie, et que l'une et l'autre se conservent presque intégralement en changeant seulement de direction, laquelle de perpendiculaire qu'elle était à l'obstacle lui devient parallèle. Le chevalier Morosi a constaté qu'en plaçant à droite et à gauche des palettes

d'une roue, mue par le choc de l'eau, des surfaces résistantes contre lesquelles l'eau venait frapper perpendiculairement après avoir été déviée à angle droit de sa première direction par les palettes, le mouvement de la roue était sensiblement augmenté; bien que l'eau, après avoir été déviée à angle droit de sa première direction de chaque côté des palettes, semblât devoir se faire équilibre et ne pouvoir produire aucun effet. Dans tous ces cas et autres analogues, évidemment une partie du mouvement de l'eau ou des autres corps change de nature, échappe à l'emploi auquel on la destinait et se présente sous d'autres aspects; cette portion de mouvement qui tend à modifier l'état physique et moléculaire des corps est fonction de leur nature et des circonstances du mouvement qui leur est imprimé, mais la partie de ce mouvement qui n'est pas appelée à produire ces effets, se conserve et se propage indéfiniment comme dans les autres cas que j'ai précédemment examinés.

Montgolfier, dans ces sortes de recherches, était toujours guidé par un seul principe, celui de la conservation indéfinie du mouvement et de l'impossibilité de l'annihilation de la force, principe avec lequel il s'était, si je puis m'exprimer ainsi, pour ainsi dire identifié. Pour lui, l'identité de la chaleur et du mouvement n'était qu'une conséquence de ce principe. Observateur profond et parfait, il avait été frappé des erreurs grossières et palpables dans lesquelles étaient tombés les auteurs, qui étaient alors généralement considérés comme les maîtres exclusifs d'une science à laquelle on n'attachait à cette époque qu'une bien faible importance, et que l'on ne soupçonnait nullement être appelée plus tard à exercer une si grande influence sur les progrès de la civilisation. Fortement pénétré de l'idée que la haute analyse mathématique n'avait pour but et ne pouvait avoir pour résultat de découvrir aucun principe nouveau, il ne la considérait que comme un instrument propre à mettre en lumière et à généraliser les conséquences des principes qu'une suite de raisonnements logiques et sains avaient fait découvrir à des hommes profonds et capables comme lui de pénétrer dans l'essence des choses; mais que l'on ne retrouvait en dernière analyse, dans les résultats des formules les plus élégantes, que la traduction sous une forme nouvelle de l'exposé des questions qui avaient servi primitivement de point de départ pour exécuter les calculs. La nature de son

esprit ne se prêtant pas à parler la langue des géomètres qui traitaient ces questions en employant la haute analyse mathématique, à les suivre dans leurs calculs et à discuter avec eux, il se contentait de les combattre en se laissant guider par son instinct du vrai; et s'élevant avec force contre une foule d'absurdes théories qui aboutissaient à admettre des principes plus ou moins erronés, tels que de prétendre qu'une même quantité de chaleur pouvait servir indéfiniment à produire une nouvelle quantité de force; qu'un cheval, placé sur le bord d'une rivière pour faire remonter un bateau, n'employait pas toute sa force à produire cet effet lorsque la corde, à l'extrémité de laquelle il était attelé, faisait un angle avec le rivage, que la force utilisée alors était représentée par la force dépensée multipliée par le cosinus de l'angle qui mesurait l'inclinaison de la corde sur le rivage, tandis que la force perdue ou anéantie par la résistance latérale de l'eau contre le bateau était exprimée par cette même force multipliée par le sinus du même angle ; que lorsqu'on jetait en l'air des corps pesants en leur imprimant un mouvement en sens contraire à celui de la gravité, les vitesses qu'on leur imprimait étaient proportionnelles à la quantité de force que l'on développait dans cet acte, et que, par conséquent, les hauteurs auxquelles s'élevaient ces corps étaient entre elles comme les carrés des forces employées à produire ces effets; que des corps primitivement au repos et se mettant en mouvement en vertu des seules actions qu'ils exerçaient les uns sur les autres pouvaient, par suite de ces mêmes actions, perdre le mouvement qu'ils avaient acquis, et dont ils étaient pourvus, et revenir au repos. Et autres assertions analogues reconnues aujourd'hui en contradiction manifeste avec les véritables principes des lois du mouvement.

Une autre assertion mise en avant par Poisson, et qui me semble aussi contraire au principe de la conservation intégrale du mouvement, est celle qui assimile le résultat du choc des corps en mouvement au cas statique, où des poids proportionnels aux forces dont sont animés ces corps se font respectivement équilibre. Dans le premier cas, en effet, la diagonale d'un parallélogramme, dont les côtés représentent en grandeur et en direction deux forces qui coïncident à l'un quelconque de ses angles, devient elle-même la véritable expression de la résultante de ces forces. Mais lorsque deux corps viennent à se choquer sous un

angle quelconque, il est évident que si la force ne peut se perdre et que la nature de ces corps leur permette de se réunir l'un à l'autre sans exercer aucune action physique l'un sur l'autre qui leur fasse perdre tout ou partie de leur mouvement, le changement de direction qui pourra être la suite de leur choc ne leur fera perdre aucune partie soit de leur vitesse, soit de leur force. Cependant, au n° 444 de sa *Mécanique*, Poisson veut que l'on assimile l'effet du choc au cas statique qu'il a traité au n° 5 auquel il renvoie, et que les composantes qui représentent la direction et l'intensité de force de corps en mouvement soient affectées du cosinus de l'angle que forme la direction de ces corps avec leur résultante, établissant ainsi une analogie qui ne me paraît nullement exister entre deux phénomènes essentiellement différents l'un de l'autre.

Supposons en effet que deux corps m', m'' (*fig.* 7) ayant des masses et des vitesses égales, dont les directions tendent vers un point commun R, viennent à se rencontrer en ce point sous un angle $m'Rm''$, et que la nature de ces corps soit telle, qu'elle leur permette de se réunir en une seule masse sans qu'il en résulte aucune perte de force qui soit le résultat de cette réunion, il est évident que la masse formée par la réunion des deux corps se dirigera suivant la ligne RR′ dont le prolongement divise l'angle $m'Rm''$ en deux parties égales, et qu'elle conservera dans cette direction toute la vitesse des corps à la réunion desquels cette masse doit son existence; car on peut supposer qu'au point R où les corps m', m'' se rencontreraient si rien ne s'y opposait, on place deux surfaces parfaitement élastiques P,P′, de telle manière que les angles m'RP, R′RP′, m''RP, R′RP′ soient égaux, les deux corps seront alors évidemment réfléchis suivant la résultante RR′ de leur direction et sans aucune perte de force; or on ne voit pas comment cette circonstance tout accidentelle, eu égard à la force dont sont pourvus ces corps, pourrait faire varier en rien leur vitesse et leur quantité de mouvement!

Si les corps choquants ou choqués avaient des masses et des vitesses différentes, la vitesse de la masse, qui serait le résultat de leur réunion, serait proportionnelle à la racine carrée de la quantité de mouvement dont est pourvu chacun d'eux en particulier divisée par leur masse réunie.

Supposons, par exemple, que la masse du corps m' est égale à l'unité et que sa vitesse soit de 10 mètres par *seconde* : cette vitesse de 10

mètres est suffisante pour faire élever le corps à 5 mètres de hauteur, et la quantité de mouvement dont il est pourvu sera exprimée par $1 \times 5 = 5$. Si, d'autre part, nous supposons que la masse du corps m' est égale à 2 et que sa vitesse soit de 20 mètres, comme cette vitesse est relative à un corps qui tombe de 20 mètres de hauteur, l'expression du mouvement de ce corps sera $2 \times 20 = 40$.

La quantité de mouvement de la masse formée par la réunion des deux corps sera donc $5 + 40 = 45$; mais comme les vitesses sont proportionnelles à la racine carrée des quantités de mouvement ou des hauteurs auxquelles pourraient s'élever les corps en vertu de ces mêmes vitesses, et que la masse des deux corps réunis est égale à $1 + 2 = 3$, on aura, en employant l'équation

$$V^2 = 20E$$

qui exprime approximativement la relation entre la vitesse et l'espace parcouru,

$$V = \sqrt{\frac{45}{3} \times 20} = 17{,}34;$$

et l'on voit en effet que comme la vitesse 17,34 est relative à une hauteur de 15 mètres, la quantité de mouvement de la masse sera égale à $15 \times 3 = 45$.

Et cependant encore ici Poisson, au IV^e^ paragraphe de l'article 315, veut que les vitesses des corps en mouvement soient en raison inverse des masses, ce qui me paraît être en contradiction avec ce qu'indiquent un raisonnement sain et l'observation des faits.

Un autre cas analogue au précédent et amenant à des résultats qui se trouvent aussi en opposition avec les principes adoptés par Poisson, est celui où deux corps m, m' (*fig.* 8), de même masse, se trouvent liés à un troisième m'' dont la masse est double de celle de l'un d'eux par le moyen d'un fil inextensible passant sur deux poulies A, A'; dans cet état de choses, si l'on maintient le corps m'' dans sa position, que l'on soulève les corps à la hauteur par exemple d'un mètre et qu'on les laisse retomber ensuite, ils communiqueront au corps m'' une quantité de mouvement qui sera exprimée par leur masse multipliée par l'espace qu'ils auront par-

couru, moins celle qui aura été employée à altérer ou changer l'état physique soit des corps, soit des fils par l'intermédiaire desquels s'opère le choc, la communication de mouvement. Mais la partie de force qui restera et sera transmise des corps m et m' à m'', sera employée en entier à soulever le corps m'' à une hauteur qui représentera toute cette quantité de mouvement, et cela indépendamment de l'angle $A\,m\,A'$. On voit en effet que la force qui n'est pas transmise des corps m et m' à m'' peut varier avec les circonstances qui accompagnent cet acte; car comme l'angle $A\,m''A'$ peut varier depuis 180 jusqu'à 0, toute la force dans le premier cas sera employée à casser, briser, détruire, échauffer soit les corps, soit les fils, et le corps m'' ne sera nullement dérangé de sa position. Mais si l'angle $A\,m''A'$ devenait de plus en plus petit et finalement nul, les espaces parcourus par m, m' et m'' seraient égaux, et la transmission de mouvement de ces corps entre eux aurait lieu avec la moindre perte de force possible. Or on peut toujours établir une similitude d'effet entre ces diverses positions, en supposant que l'on ajoute au système deux autres poulies B,B' qui auront pour effet de rendre la direction du mouvement de m' parallèle à celle des corps m, m', et de rentrer par conséquent dans le cas précédent; et l'on conçoit difficilement comment des changements dans le mode de transmission de la force, qui par sa nature n'est susceptible d'éprouver aucune variation dans son intensité, pourraient déterminer soit l'anéantissement complet, soit la conservation du mouvement développé par la chute des corps m, m', et que cette partie de mouvement transmise par les corps m, m' à m'' pût être seulement proportionnelle au cosinus de l'angle $A\,m''\,B'$.

Un fait très-remarquable qui accompagne le choc, et en général la communication de mouvement entre les corps, c'est la perte momentanée de vitesse et par conséquent de mouvement, qui a lieu au moment où les corps ayant épuisé, dans l'acte du choc, toute la vitesse dont ils étaient pourvus, restent au repos pendant un temps probablement infiniment court, pour reprendre ensuite cette même vitesse en suivant des phases analogues mais avec des signes contraires, à celles pendant lesquelles ils ont perdu ce même mouvement; exactement de la même manière que lorsque les corps, après s'être mis en mouvement en obéissant à l'action de leurs attractions réciproques, perdent la vitesse qu'ils

avaient acquise dans cet acte en s'éloignant l'un de l'autre, jusqu'à ce que leur mouvement soit épuisé, et qu'ils le reprennent de nouveau en se rapprochant pour accomplir, si rien ne vient déranger cet état de choses, une suite indéfinie de nouvelles oscillations. Il m'a semblé que ces divers phénomènes étaient liés entre eux par des rapports si frappants, qu'il convenait de rechercher si les causes auxquelles j'ai attribué l'origine du mouvement ne pourraient pas aussi être invoquées pour expliquer cette disparition momentanée de la force et sa réapparition, phénomène si analogue à l'oscillation qu'éprouvent les corps célestes dans les alternatives de leurs mouvements les uns autour des autres, ce qui forme un des caractères les plus essentiels des propriétés de la matière.

Pour parvenir à découvrir quelle pouvait être la cause première à laquelle devait être attribuée l'origine du mouvement, j'ai considéré l'action réciproque d'un amas indéfini de molécules agissant les unes sur les autres et obéissant à la loi d'attraction; et j'ai pensé que l'on pouvait trouver dans les conséquences de ce mode d'action les moyens de donner une explication pleine et entière du phénomène de l'apparition de la force. En portant l'investigation plus loin, je suis arrivé à considérer les molécules matérielles disséminées dans l'espace comme se réunissant autour de grands centres d'actions vers lesquels est venue se grouper la matière, à peu près comme nous l'observons en petit lorsque, par suite d'une affinité chimique, nous apercevons un précipité se former au sein d'un liquide contenant des substances qui se trouvent dans les circonstances favorables pour se combiner entre elles. En envisageant sous ce point de vue cet acte de la toute-puissance de Dieu, l'un de ces grands centres aurait embrassé dans l'espace les régions qui ont donné naissance à notre univers, et la formation du soleil qui en occupe le centre, ainsi que les corps célestes dont il est environné, seraient dus à la matière que contenait cet espace; tandis que les parties matérielles qui occupaient les régions environnant celle sur laquelle le soleil étendait son empire, se seraient réunies pour former les étoiles qui se trouvent actuellement les plus rapprochées de lui.

Passant de là à la considération de l'action que les molécules devaient exercer individuellement les unes sur les autres pendant le mouvement

général qui les portait au centre commun de gravité, nous trouverons qu'il a dû se former par suite de la même cause des centres partiels de plusieurs ordres sur des échelles de moins en moins étendues.

Or, considérons un de ces groupes de molécules, m tout près du centre de gravité général, formant un des termes de la dernière série de l'échelle formé par la réunion d'une molécule m placée au centre de gravité autour de laquelle oscillent, suivant des droites ou des ellipses très-allongées, douze autres molécules semblables, dont les grands axes de révolution sont inclinés les uns sur les autres sous des angles de 60 degrés en accomplissant leurs mouvements suivant les lois de Kepler. Comme le mouvement de ce petit système est proportionnel à la quantité de matière renfermée dans la sphère dont le rayon est mesuré par sa distance au centre de gravité général, il est évident qu'il arrivera à ce point avec une vitesse d'autant moindre qu'il en sera plus rapproché. Les molécules les plus éloignées de ce centre, d'autre part animées d'immenses vitesses, lorsqu'elles auront atteint ce centre de gravité, viendront traverser le système des premières en exerçant sur elles des perturbations analogues à celles que les corps célestes exercent les uns sur les autres, lorsque leurs positions respectives viennent à varier et qu'il en résulte des variations analogues dans les éléments de leurs orbites : ce sont ces molécules en mouvement, auxquelles je donne le nom de μ, que j'ai considérées comme remplaçant l'éther des physiciens, qui me paraissait un rouage inutile et superflu ; et je regarde ces molécules comme étant les véritables agents auxquels on doit attribuer les phénomènes désignés sous le nom de *lumière, calorique, électricité, magnétisme, etc.*, que la science actuelle considère encore comme produits par un mouvement vibratoire des molécules matérielles transmis de proche en proche, comme l'est le son par l'air, et propagé par l'éther depuis le point où se trouve placée l'origine de ces mouvements vibratoires, jusqu'à celui où s'en fait ressentir l'effet qui rend le phénomène appréciable à nos sens.

Pour faciliter l'examen de l'action des μ sur les m et des perturbations que ces molécules leur font éprouver lorsqu'elles viennent à traverser leur système, je supposerai que l'on se borne à considérer les actions réciproques de ces molécules entre elles dans un plan passant

par le centre m (*fig.* 9) d'un des systèmes élémentaires de m et par six autres molécules m', m'', qui se trouvent dans le même plan et à égale distance les unes des autres et de la molécule m placée au centre; et que ce système considéré comme au repos soit traversé par deux files seulement de molécules μ, μ' se succédant sans interruption, marchant avec des vitesses aussi grandes et à des distances les unes des autres aussi rapprochées qu'on voudra le supposer. On voit que la vitesse des μ augmentera, à mesure qu'ils approcheront du système des m, et les distances qui les séparent augmenteront aussi en raison inverse du carré des distances : cette même vitesse augmentera seulement comme les distances au centre, à partir du moment où les μ pénétreront dans le système des m, jusqu'à ce qu'ils soient parvenus au centre de gravité; et les mêmes effets se reproduiront en sens contraire à mesure que les μ, après être parvenus au centre de gravité m, s'en éloigneront en suivant les mêmes phases que pendant leur rapprochement.

Il suit de là qu'à un instant donné la masse des molécules μ, à l'extérieur du système qui tend à éloigner les m de leur centre de gravité, sera toujours plus grande que la masse des molécules μ, à l'intérieur du système qui tend à ramener ces mêmes molécules m à leur centre de gravité; elles agiront donc d'une manière moins active pour les en faire approcher. Ainsi le résultat final de toutes ces actions, auxquelles j'ai donné le nom de *distension*, sera une tendance de la part des molécules m à s'éloigner les unes des autres et à s'amplifier, tendance qui s'opposera à l'action de la gravité qui porte ces molécules à s'approcher et la combattre; et si ces deux forces deviennent égales, les molécules m resteront à l'état de repos.

Je ferai d'abord remarquer que la manière dont j'ai envisagé la cause des phénomènes attribués jusqu'ici à l'action des corps dits impondérables, phénomènes que je considère comme produits par les actions des molécules matérielles isolées les unes des autres et en mouvement, opinion partagée aujourd'hui par tant d'hommes dont la haute capacité ne peut être mise en doute par personne, que ce mode d'envisager les faits, dis-je, donne une explication aussi facile, aussi simple et aussi claire qu'il est possible de l'espérer du phénomène le plus obscur et le plus difficile à expliquer en physique, celui de la dilatation des corps

par la chaleur et de leur contraction par le froid. On voit en effet que si la chaleur est produite comme le voulait Newton par le mouvement des particules matérielles réduites à leur dernier état de division, ce qui représente bien pour moi les μ tels que je les conçois, lorsque les μ en mouvement traverseront des systèmes de m ou des corps constitués, ils auront pour effet d'écarter leurs molécules, d'augmenter leur volume, et de les dilater à mesure que leur nombre et leur vitesse augmenteront, et réciproquement le volume de ces corps diminuera, et ils se contractera lorsque le nombre et la vitesse des μ viendra à diminuer. Rien ne sera donc plus facile, en envisageant les phénomènes sous ce point de vue, que de résoudre une difficulté restée inabordable jusqu'à ce jour.

Passant de là à la considération de la disparition momentanée de la force et de sa réapparition dans l'acte du choc ou de la compression des corps, je ferai observer que si les molécules m, dont la réunion forme les corps que l'on considère, viennent à se rapprocher les unes des autres pendant que les μ traverseront leur système, ces molécules exerceront leurs actions sur les m pendant un espace de temps plus considérable dans la période de leur rapprochement que dans celle de leur éloignement. En effet, les molécules m, dans le sens où a lieu le choc, tendent toujours à se rapprocher par l'effet de cet acte jusqu'à ce que la compression qui en est la suite soit arrivée à la limite qui répond et à l'intensité du choc, et à la nature des corps choquants et choqués; mais comme les corps formés par l'assemblage des m diminuent continuellement de volume, les μ resteront plus longtemps engagées dans l'intérieur des corps choquants et choqués pendant la première période de leur mouvement, depuis le moment où ils pénétreront dans le système des m jusqu'à celui où ils atteindront le centre de gravité, que dans la période suivante où, après avoir dépassé ce centre, ils atteindront l'autre extrémité des corps, et comme l'augmentation et la perte de vitesse qu'ils éprouveront seront proportionnelles aux temps pendant lesquels les μ et les m auront exercé réciproquement leurs actions les uns sur les autres, il s'ensuit que les vitesses gagnées dans la première période seront plus considérables que celles perdues dans la seconde; et les μ sortiront par conséquent du système des m avec une

vitesse plus grande que lorsqu'elles y sont entrées. Or, dans ma manière d'envisager le phénomène, une accélération de vitesse des μ est pour moi synonyme d'une production de chaleur, et c'est précisément cette chaleur dégagée qui représente la quantité de mouvement dont étaient pourvus les corps, et qui devient alors apparente sous forme de lumière, de calorique, d'électricité, etc., que je considère comme l'équivalent de la disparition momentanée de la vitesse des corps pendant le choc. Lorsque les corps, après être restés en contact pendant toute la durée du choc, ont été dépouillés de leur vitesse et de la quantité de mouvement dont ils étaient pourvus en la transmettant aux μ, les molécules m se trouvant plus rapprochées les unes des autres qu'elles ne l'étaient au moment de la première impression du contact des corps choquants et choqués, la distension ou action des μ, pour écarter les m les uns des autres, est devenue plus considérable; leur action a eu pour résultat de distendre les m, et c'est à ce moment que les corps ont commencé à s'écarter les uns des autres; les μ pendant ce mouvement ont donc exercé leur action sur les m pendant moins longtemps, dans l'intervalle de la première période depuis leur entrée dans leur système jusqu'au centre de gravité, que pendant la seconde période depuis ce point jusqu'à ce qu'ils en fussent sortis. Leur vitesse est par conséquent devenue moindre que celle qu'ils avaient en entrant dans les corps choquants et choqués; et c'est la quantité de mouvement des μ sous forme de chaleur résultant de cette vitesse qui, en disparaissant, a été transmise aux corps sous la forme d'un mouvement de translation en quantité égale à celle qui avait été absorbée dans la première période, et les corps se sont alors éloignés avec une vitesse égale à celle dont ils étaient animés lorsque, marchant à la rencontre l'un de l'autre, ils avaient été soumis à la première impression du choc.

La perte apparente de la force et sa réapparition instantanée dans l'acte du choc ne serait donc que le résultat d'une transmission momentanée de mouvement dont sont pourvus les corps, sous forme de chaleur, soit à leurs propres molécules, soit aux molécules qui les entourent et les traversent à chaque instant; et la même explication s'appliquerait aussi à la compression et à la dilatation des corps, et en général à tous les cas où le mouvement changeant de nature et

affectant des formes différentes produit des phénomènes analogues.

Je n'ai eu aujourd'hui que l'intention de mettre en lumière le grand principe de la conservation indéfinie du mouvement, lequel paraît du reste ne plus être contesté par personne. Ce n'est donc point ici le lieu de m'étendre sur les détails des conséquences que l'on pourrait en tirer pour l'explication des phénomènes qui sont du ressort de la physique moléculaire. L'admission de ce principe entraîne nécessairement l'impossibilité qu'aucune partie de force une fois apparue, sous quelque forme que ce soit, puisse disparaître, ce qui est en contradiction avec la science telle qu'elle est professée encore aujourd'hui ; or il est évident que ces faits mis en lumière par le raisonnement, l'observation et l'expérience, doivent être considérés comme nouveaux, et, à ce titre, nécessiter une réforme dans les ouvrages qui traitent de la mécanique, tels qu'étaient compris les principes sur lesquels était basée cette science au temps où Poisson écrivait. Ces faits exigent que ces principes soient révisés et modifiés, puisqu'une partie des formules qui ont pour objet de déterminer de quelle manière se transmet la force dans le choc des corps, et qui sont le développement de ces principes, conduisent à de faux résultats démentis par l'expérience, qui ne mènent à rien moins qu'à l'admission du mouvement perpétuel.

Au principe qui sert de base à toute la science de la statique, et qui constate d'une manière générale que *la puissance est à la résistance comme l'espace parcouru par la seconde est à celui parcouru par la première dans le même temps,* il faut donc ajouter cet autre principe, que l'on doit considérer comme tout aussi général, et son équivalent en dynamique, c'est que *le mouvement devenu apparent par l'effet des causes qui lui donnent naissance continue indéfiniment sa manifestation, jusqu'à ce que ces mêmes causes auxquelles il devait sa production aient agi dans un sens opposé pour ramener les choses dans leur état primitif.*

Paris — Imprimerie de MALLET-BACHELIER
rue du Jardinet, 12.

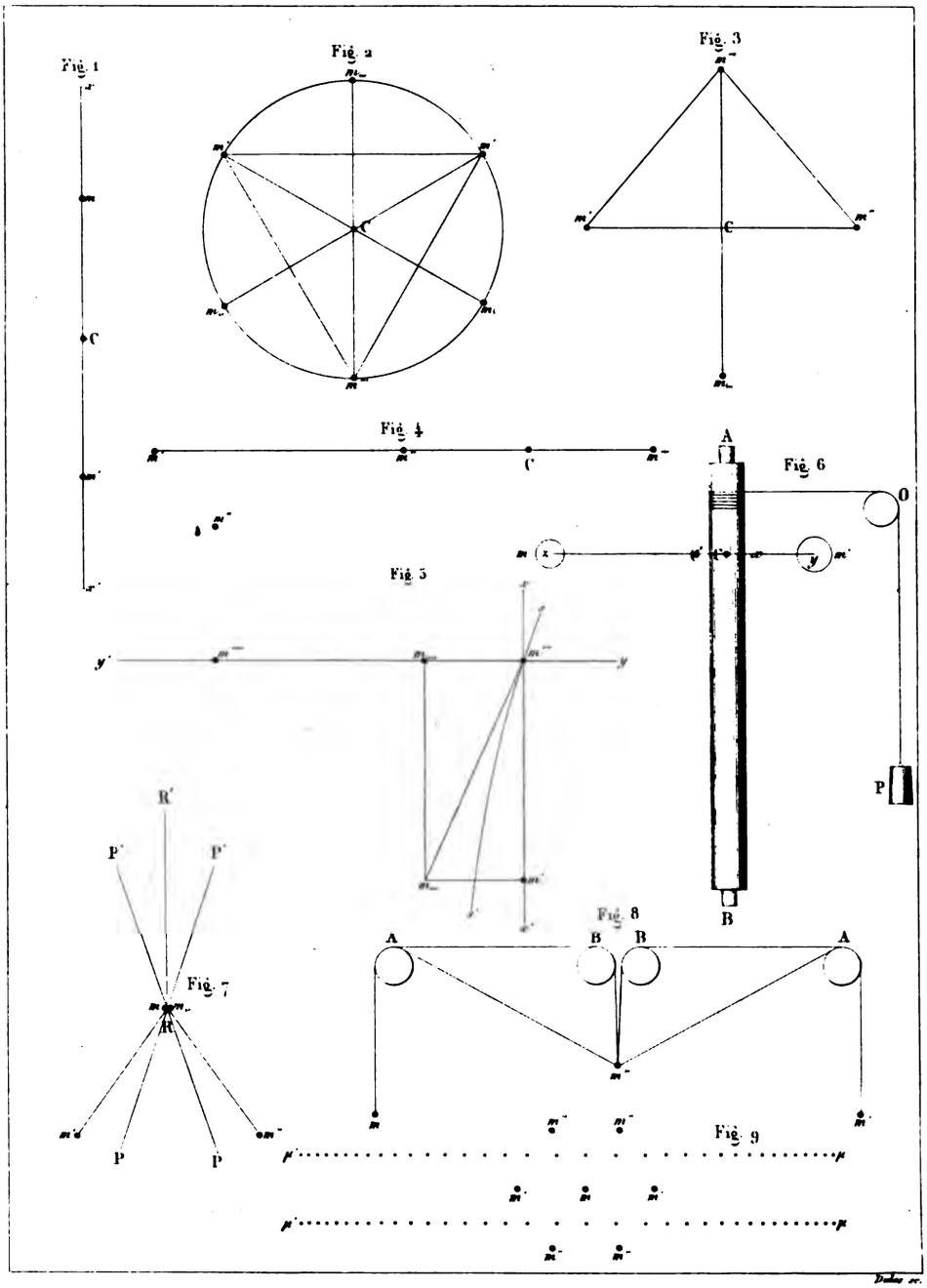
Fig. 1
Fig. 2
Fig. 3
Fig. 4
Fig. 5
Fig. 6
Fig. 7
Fig. 8
Fig. 9
C
A
B
P
R
R'
P'